

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ЗВАРЮВАЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА**

"На правах рукопису"
УДК 621.791

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ В. В. Квасницький

“ _ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему:

**«Модифікування поверхні низьковуглецевих сталей при повітряно-плазмовому
різанні»**

Виконав: студент VI курсу, групи ЗВ- 61м
Чміль Богдан Олексійович

(підпис)

Керівник:
Професор, д.т.н., Квасницький В.В

(підпис)

Консультант з охорони праці:
Професор, д.т.н., Левченко О. Г.

(підпис)

Рецензент:
Професор, д.т.н., Рижов Р.М.

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет _____ Зварювальний _____
Кафедра _____ Зварювального виробництва _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
Спеціальність _____ 131 Прикладна механіка _____
Спеціалізація _____ Технології та інжиніринг у зварюванні _____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ **В. В. Квасницький**
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Чмілю Богдану Олексійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації _____ Модифікування поверхні низьковуглецевих сталей
при повітряно-плазмовому різанні _____

науковий керівник дисертації _____ **Квасницький Віктор Вячеславович, професор., д.т.н.**
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 10 » _____ квітня _____ 2018 р. №1118 - с

2. Термін подання студентом дисертації _____ 03 травня 2018 р. _____

3. Об'єкт дослідження _____ Процес зміцнення поверхні сталевих виробів при
плазмовому різанні повітряною плазмою.

4. Предмет дослідження _____ Вплив плазмоутворюючого середовища і технологічних
параметрів процесу повітряно-плазмового різання на характеристики якості
поверхневих шарів сталевих виробів.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1. Огляд літератури стосовно технологій плазмового різання, особливостей теплових та фізико-металургійних процесів, що визначають характеристики якості поверхонь різі. 2. Вибір обладнання та матеріалів для проведення досліджень, визначення методик. 3. Дослідження впливу хімічного складу плазмоутворювального середовища, технологічних параметрів процесу на насичення крайок поверхні різі розчинними газами, зміну структури та фізико-механічних властивостей поверхневого шару крайок різі та зони термічного впливу. 4. Узагальнення результатів досліджень, встановлення закономірностей впливу технології повітряно-плазмового різання на зміцнення поверхневих шарів низьковуглецевих сталей. 5. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів, створення інженерних рішень для забезпечення безпеки праці, безпека в надзвичайних ситуаціях.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:

Презентація результатів досліджень.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

- Вплив параметрів режиму повітряно-плазмового різання на геометричні характеристики крайок виробів з листового сталевих прокату.
- Вплив полярності струму та складу плазмоутворюючого середовища на якість крайок різі при плазмовому різанні.
- Вплив технологічних факторів на глибину азотованого шару низьковуглецевих сталей при повітряно-плазмовому різанні.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Левченко О. Г., зав. каф.		

9. Дата видачі завдання 12 березня 2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз і систематизація матеріалів для включення у пояснювальну записку	листопад 2017 р.	
2	Розробка ілюстративної частини дисертації	грудень 2017 р.	
3	Збір додаткових матеріалів, детальна розробка і обґрунтування наукових рішень	січень 2018 р.	
4	Оформлення ілюстративного матеріалу Літературна обробка і остаточне оформлення пояснювальної записки	квітень 2018 р.	
5	Захист магістерської дисертації	травень 2018 р.	

Студент

(підпис)

Б. О. Чміль

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

В. В. Квасницький

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація, 72 ст., 15 рис., 8 табл., 51 джерело.

Мета і задачі дослідження: Метою дисертаційної роботи є аналіз чинників та технологічних факторів що впливають на механічні властивості поверхні сталевих виробів при їх обробці азотовмісною плазмою при плазмовому різанні.

Для досягнення даної мети сформовано наступні задачі:

- Визначення чинників за рахунок яких відбувається зміна механічних властивостей поверхні сталевих виробів;
- Визначення товщини поверхневого шару у якому відбувається модифікування;
- Аналіз технологій різання які будуть забезпечувати точні розміри та потрібні механічні властивості кромки сталевих виробів.

Об'єкт дослідження: Процес зміцнення поверхні сталевих виробів при плазмовому різанні азотовмісною плазмою.

Предмет дослідження: Вплив плазмоутворюючого середовища і технологічних параметрів процесу плазмового різання на механічні показники поверхні сталевих виробів.

Актуальність: Переважна більшість зварних конструкцій виготовляється з заготовок отриманих за допомогою розділового різання з листового прокату, більше 70 % якого в машинобудуванні обробляється термічним різанням. Найбільш ефективним способом термічного різання листового металопрокату зі сталей товщиною від 3 до 10 мм є плазмове різання, яке при високій продуктивності процесу забезпечує високу якість поверхонь різку, дозволяє в процесі розділового різання заготовок формувати модифіковані шари з визначеною структурою та фазовим складом, підвищеними характеристиками твердості та міцності.

У випадку отримання на меті модифікованого поверхневого шару з визначеною структурою та підвищеними показниками міцності та твердості,

необхідно визначити технологічні параметри процесу різання та вміст плазмоутворюючого середовища.

Тому у даній роботі описано дослідження впливу різних режимів повітряно-плазмового різання на фізико-механічні властивості поверхні сталевих виробів азотовмісною плазмою.

Публікації:

Основні результати роботи висвітлені в 2-х публікаціях.

ABSTRACT

Master's dissertation, 95 pages, 45 figures, 15 tables, 76 sources.

Purpose and objectives of the research: The purpose of the dissertation work is to analyze the chemical and technological factors that influence the mechanical properties of the surface of the steel products when they are processed by the nitrogen-containing plasma during plasma cutting.

In order to achieve this goal, to formulate the following tasks:

- Determination of factors due to which there is a change in the mechanical properties of the surface of steel products
- Through the mathematical modeling, the chemical composition of the gas phase, which interacts with the metal, is investigated
- Technology Analysis Cutting What Will Deliver Precise Dimensions and Required Mechanical Properties Edges Steel Products

Object of research: Process Strengthening of the surface of steel products during plasma cutting of nitrogen-containing plasma.

Subject of research: Influence of the plasma-forming medium and technological parameters of the plasma cutting process on mechanical parameters of the surface of steel products.

Actuality: Most of the welded structures are made from blanks obtained by cutting Slicing from sheet metal, more than 70% of which in machine building is processed by thermal cutting. The most effective heat treatment method is the cutting of sheet metal rolls from steels. Thickness from 3 to 10 mm. Plasma Cutting. Please, with high product quality. Provides High quality of cutting surfaces, allows for modifying layers with a determination of structure and phase composition, suspended by hardness characteristics and durability.

In the case of obtaining a modified surface layer with a defined structure and increased strength and hardness parameters, it is necessary to determine the technological parameters of the cutting process and the content of the plasma-forming medium.

Therefore, in this paper we describe the effects of different modes of air-plasma cutting on the physical and mechanical properties of the surface of steel products by nitrogen-containing plasma.

Publications:

The main results of the work are highlighted in 2 publications.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1. Особливості застосування плазмового різання.....	11
Висновки по першому розділу.....	31
2. Методики проведення досліджень та матеріали.....	32
3. Визначення впливу параметрів режиму плазмового різання та плазмоутворюючого середовища на структуру та властивості робочої крайки.....	34
3.1 Вплив складу плазмоутворюючого середовища та полярності плазмової обробки на вміст азоту.....	34
3.2 Вплив технологічних параметрів повітряно-плазмового різання на якість крайок різу.....	36
3.3 Дослідження мікротвердості та вмісту азоту в крайках заготовок модифікованих повітряно-плазмовим різанням.....	43
3.4 Дослідження мікроструктури ЗТВ крайок заготовок модифікованих повітряно-плазмовим різанням.....	48
Висновки по третьому розділу.....	52
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	53
4.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ).....	53
4.2. Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці.....	55
4.2.1 Електробезпека.....	55
4.2.2 Вентиляція.....	57
4.2.3 Засоби індивідуального захисту.....	58
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	61
4.3.1 Пожежна безпека.....	62
4.3.2 Безпека в аварійних ситуаціях.....	63
Висновки по четвертому розділу.....	64
Загальні висновки.....	65
Література та інші джерела.....	66

ВСТУП

Плазмове різання - напрямок, що успішно розвивається в галузі плазмових технологій. На сьогоднішній день це найбільш ефективний спосіб різання листового металу у порівнянні з газокисневим, лазерним та гідроабразивним різанням при товщинах металу від 3 до 50 мм.

Застосування технологічних процесів плазмового різання обумовлює високі швидкості різання і високу якість поверхні різку кольорових металів, вуглецевих і легованих сталей. Так, за допомогою лазерного різання можливе різання листів товщиною до 8-10 мм. У порівнянні з лазерним різанням перевагою плазмового різання це можливість обробки значно ширшого по товщині діапазону товщин металу (до 200 мм) при хорошій якості різку. При малих і середніх товщинах металу газокисневе різання також значно поступається плазмовому.

Що до самої плазми [1], то вперше у 1929 році фізики з США Ірвінг Ленгмур і Леві Тонко назвали плазмою іонізований газ в газорозрядній трубці. При вивченні електричного розряду в трубці з розрідженим повітрям і була відкрита матерія, що стала четвертим станом речовини.

Будь-яка речовина в залежності від температури може знаходитися в декількох станах: твердому, рідкому, газоподібному. При подальшому збільшенні температури атоми і молекули втрачають електрони, в результаті газ перетворюється на плазму. При температурі понад 1 000 000 градусів Цельсія плазма практично повністю іонізована - в її складі є тільки електрони і позитивні іони. З плазми перебуває близько 99% маси Всесвіту. Зірки, туманності - це іонізована плазма.

Розрізняють два типу плазми: ізотермічну, що виникає при нагріві газу до температури досить високої, щоб протікала термічна іонізація газу, і газорозрядну, що утворюється при електричних розрядах в газах [2]. Фізичні явища в процесі переходу речовини в стан плазми можна простежити на прикладі утворення ізотермічної плазми.

З підвищенням температури зростає кінетична енергія і збільшуються амплітуди коливань атомів і молекул твердої речовини, розташованих в кутах його кристалічних решіток, до руйнування останнього і переходу речовини в рідкий, а потім в газоподібний стан. В результаті виходить газоподібна суміш з атомів і молекул елементів, що входять до складу речовини, які швидко і безладно рухаються, відчуваючи випадкові зіткнення один з одним.

З підвищенням температури до 3000-5000 К закінчується дисоціація молекул на атоми і починається процес переходу газу в стан плазми. При цій температурі кінетична енергія атомів досягає значень, при яких в результаті зіткнень починають руйнуватися їх зовнішні електронні оболонки, і нейтральні атоми, позбавлені електронів на зовнішніх оболонках, перетворюються в позитивно заряджені іони. Вивільнені електрони, в свою чергу, також вибивають електрони з оболонок інших атомів, і процес протікає лавиноподібно. В результаті в газі (крім нейтральних атомів) з'являються позитивні іони і вільні негативно заряджені електрони, відірвані від атомів. Зі збільшенням температури частка іонів і електронів в цій суміші швидко зростає. При температурі в декілька десятків тисяч градусів переважна частина атомів в будь-якому газі іонізована і нейтральні атоми практично відсутні.

У 1941 [3] році фахівці військово-промислового комплексу США відкрили новий процес зварювання в рамках дослідження більш досконалих способів з'єднання металів між собою. Цей процес, також званий TIG або GTAW, включає подачу інертного газу через електричну дугу. Вчені з'ясували, що збільшення потоку газу і зменшення отвору в газовому соплі, аналогічно використовуваному при зварюванні TIG, призводить до утворення плазмового струменя. Цим струменем можна різати метали, однак метод не знайшов широкого застосування через явище, так званої подвійної дуги. При різанні це явище призводить до пошкодження електрода і сопла.

У 1954 році для усунення явища подвійної дуги запропонована технологія подвійного потоку. Цією технологією передбачається подача другого захисного газу навколо плазмового сопла.

Після вдосконалення технології подачі газу з 1950-х років плазму стали використовувати для різання металу, і на сьогоднішній день ця технологія за популярністю перевершує всі інші способи різання.

Вагомою перевагою плазмового різання є можливість виготовлення з листового матеріалу деталей складної геометричної форми. В даному випадку продуктивність різання в кілька десятків разів перевищує продуктивність фрезерування. При цьому точність розмірів і форми вирізаних виробів може бути досить високою, що для деяких деталей виключає необхідність їх додаткової механічної обробки. Також є можливість різання деталей під кутом шляхом відповідної установки сопла, що здійснюється досить ефективно.

Плазмове різання відноситься до способів термічного різання металів і характеризується складними явищами перетворення електричної енергії джерела струму в теплову енергію плазмової дуги, інтенсивним стисненням її стовпа в формуючій камері плазмотрона і наскрізним проплавленням плазмовою дугою, що розрізає з видуданням розплавлених метал з порожнини різку. Після завершення різання метал охолоджується. Фактично відбувається локальна термообробка металів в зоні впливу. Відповідно змінюються структура і механічні властивості металу.

Дана магістерська дисертація описує дослідження впливу параметрів режиму плазмового різання на процес модифікування (зміну структури і механічних властивостей) поверхні сталевих виробів при плазмовому різанні азотовмісною плазмою.

1. Особливості застосування плазмового різання

Основним способом термічного розділового різання листового металопрокату товщиною від 3 до 10 мм при виготовленні заготовок виробів є повітряно-плазмове різання, яке за продуктивністю та якістю вирізаних поверхонь істотно перевершує газокисневе.

Застосування технологічних процесів плазмового різання обумовлює високі швидкості різання і високу якість поверхні різку кольорових металів, вуглецевих і легованих сталей (табл. 1.1). Так, за допомогою лазерного різання можливе різання листів товщиною до 8-10 мм. У порівнянні з лазерним різанням перевагою плазмового різання це можливість обробки значно ширшого по товщині діапазону товщин металу (до 200 мм) при хорошій якості різку. При малих і середніх товщинах металу газокисневе різання також значно поступається плазмовому.

Таблиця 1.1 Порівняння термічних способів різання металу

Показник	Термічні способи різання		
	Газокисневе	Плазмове	Лазерне
Область застосування	Метали та їх сплави, нержавіючі сталі, кольорові метали, залізобетон	Майже всі метали та їх сплави	Майже будь-які матеріали
Товщина металу (мм)	До 2000	До 200	До 20
Ширина різку (мм)	До 10	2-7	0,1-1
Якість різку	низька	середня	висока
Продуктивність	низька	висока	висока
Зона термічного впливу	велика	велика	середня
Собівартість	низька	середня	висока

При плазмовому різанні метал проплавляється потужним дуговим розрядом, локалізованим на малій ділянці поверхні металу, що розрізається, з подальшим видаленням розплаву із зони різку високошвидкісним газовим потоком. Ріжучим інструментом при плазмовому різанні служить струмінь плазми. Температура плазми досягає $10000...50000^{\circ}\text{C}$ залежно від складу, витрати плазмоутворюючого середовища і ступеня обтиснення плазмового струменя.

Струмінь плазми одержують шляхом обтиснення стовпа дуги в каналі сопла. В результаті збільшення напруженості електричного поля в обтисненій частині стовпа різко зростає температура в центральній частині струменя. Питома потужність плазмового струменя досягає $10^4...2 \times 10^6\text{ Вт/см}^2$ [4], що цілком достатньо для розплавлення будь-якого твердого тіла.

Як плазмоутворюючі гази використовуються Ar, He, N_2 і їх суміші з H_2 , $\text{H}_2 + \text{N}_2$; $\text{Ar} + \text{H}_2 + \text{N}_2$, водяну пару, стисле повітря та ін. Зміна хімічного складу плазмоутворюючого середовища дозволяє впливати на основні технологічні показники процесу, характеристики якості поверхні, структурний та фазовий склад приповерхневих шарів. Хімічний склад плазмоутворюючого середовища визначає напруженість поля стовпа дуги, дозволяє регулювати щільність струму в дузі, величину теплового потоку в порожнині різку, ефективність перетворення в дузі електричної енергії в теплову, що дозволяє в широких межах регулювати кількість теплової енергії, яка виділяється.

Склад та температура плазмоутворюючого середовища визначає термодинамічну можливість протікання реакцій з основним металом, що дозволяє впливати на хімічний склад поверхневих шарів крайок різку, змінює в'язкість, величину поверхневого натягу розплаву, що утворюється при тепловій дії плазмового струменя.

Залежно від хімічного складу основного металу та плазмового середовища, ступеня іонізації останнього, в зону різку може вводиться додаткове тепло в наслідок проходження екзотермічних реакцій при хімічній взаємодії плазмоутворюючого середовища з металом, що розрізається. При цьому

додатковий внесок хімічної реакції в загальний тепловий баланс може досягати значних величин в порівнянні з електричною потужністю плазмової дуги.

Всі параметри технологічного процесу [5] плазмового різання такі, як точність, продуктивність і економічність, пов'язані також з властивостями і товщиною металу, що розрізається. Значний вплив на режими і технологію плазмового різання і на якість різу впливає плазмоутворююче середовище.

Потрібно відзначити, що вибір плазмоутворюючого середовища повинен проводитися в залежності від властивостей і товщини оброблюваного металу, виходячи, з одного боку, з умови забезпечення потрібної продуктивності різання, а з іншого, - мінімального негативного впливу процесу різання на форму поверхні різу, властивості і структуру металу в ЗТВ.

Одним з найважливіших параметрів, що визначає продуктивність процесу плазмового різання, є швидкість різання. К. В. Васильєвим запропоновано рівняння для розрахункової оцінки швидкості плазмового різання, засноване на обліку складових енергетичного балансу і на допущенні, що рідкий метал, що знаходиться при температурі плавлення, здувається потоком плазми з кромки металу, що розрізає. В такому випадку швидкість різання v металу товщиною s і щільністю γ у при утворенні порожнини різу шириною h , при тепловій дії дуги напругою U і силі струму I визначається виразом:

$$v = \frac{0,24IU_{\eta} - q_{\text{т}}}{\gamma h s \Delta Q}$$

де η - ефективний ККД дуги; ΔQ - приріст теплової енергії в метал; $q_{\text{т}}$ - інтенсивність теплопередачі в метал.

Аналіз даного виразу дозволяє встановити деякі загальні технологічні закономірності процесу плазмового різання.

Перша закономірність - швидкість плазмового різання - зумовлюється потужністю дуги. У цьому корінна відмінність і перевага плазмового різання по продуктивності по відношенню до кисневого різання, швидкість якого пов'язана насамперед з кінетикою хімічних перетворень. Однак перевага плазмового різання по швидкості не є безумовною, так як швидкість плазмового різання

падає значно швидше в міру збільшення товщини металу, що розрізається, ніж швидкість кисневого різання.

Друга закономірність - швидкість плазмового різання - прямо пропорційна потужності дуги і обернено пропорційна товщині і щільності металу, що розрізається.

Третя закономірність - потужність ріжучої дуги $0,24IU_{\eta}$ - повинна бути більше або дорівнювати деякій критичній величині, при якій забезпечується проплавлення металу певної товщини з урахуванням втрат q_T від теплопередачі в лист що розрізається. За інших рівних умов зі збільшенням швидкості різання в певний момент часу може припинитися наскрізне прорізання металу.

Четверта закономірність - обидві складових потужності ріжучої дуги (сила струму і напруга) - не рівноцінні за інтенсивністю впливу на швидкість різання. Встановлено на підставі експериментальних досліджень, що збільшення напруги більш ефективно впливає на швидкість різання, ніж збільшення сили струму. Величина напруги на дузі зумовлює глибину її занурення в розрізаний метал. Збільшення напруги зі збільшенням товщини металу, що розрізає дозволяє різати метали так званої «жорсткою» ріжучої дугою (велика витрата газу через вузьке сопло), що сприяє підвищенню швидкості та якості різання.

Склад плазмоутворюючого середовища визначає фізико-хімічні процеси, що протікають в системі плазма-основний метал. Хімічний склад плазмового струменя, його температура, технологічні параметри процесу плазмового різання, конструкція плазмотрону суттєво впливають на ступінь насичення стінок різку газами, глибину газонасиченого шару, фазовий склад та структуру крайок різку [6-11].

Перспективність застосування плазмової обробки, як і інших концентрованих джерел енергії, з метою підвищення міцності деталей машин підкреслена в роботах [12-14]. Однак ефективність такої обробки визначається обґрунтованим вибором оптимальних режимів процесу зміцнення з урахуванням особливостей структуроутворення аустеніту. Оскільки час перебування матеріалу, що обробляється, в області високих температур незначний, то при

аустенізації стан аустеніту визначається не лише величиною його зерна, а ще і різнозернистістю, ступенем неомогенності за хімічним складом, щільністю дислокацій, які залежать від технології зміцнення, зокрема від максимальної температури нагріву поверхневого шару, часу знаходження в області температур вище A_{C3} і вихідної структури металу.

Змінюючи склад плазмоутворюючого середовища, технологічні параметри процесу можна впливати не лише на показники якості поверхні різну, а і на фізико-механічні властивості матеріалу крайок різну шляхом керування їх структурним та фазовим складом, глибиною модифікованого шару.

При різанні сталей найбільше застосування одержало плазмоутворююче середовище - стиснене повітря, як найпоширеніший і економічно ефективніший газ [7], основними компонентами якого є азот та кисень.

Плазмове різання виконують дугою прямої або непрямої (побічної) дії - по цій ознаці розрізняють плазмові пальники (плазмотрони). Не зважаючи на різноманітність конструкцій плазмотронів, принцип дії їх однаковий і заснований на примусовому охолодженні і стисканні стовпа дуги рідиною або потоком газу [4,6,15].

Найбільше поширення набули плазмотрони, в яких електрод є катодом. Анодом служить сопло у момент збудження і оброблюваний виріб в процесі різання. Дуга збуджується між електродом і соплом, проходить через сопло під тиском робочого газу, що подається в камеру. Анодна пляма дуги переміщається по внутрішній поверхні каналу сопла і стовп виявляється жорстко стабілізованим по осі сопла.

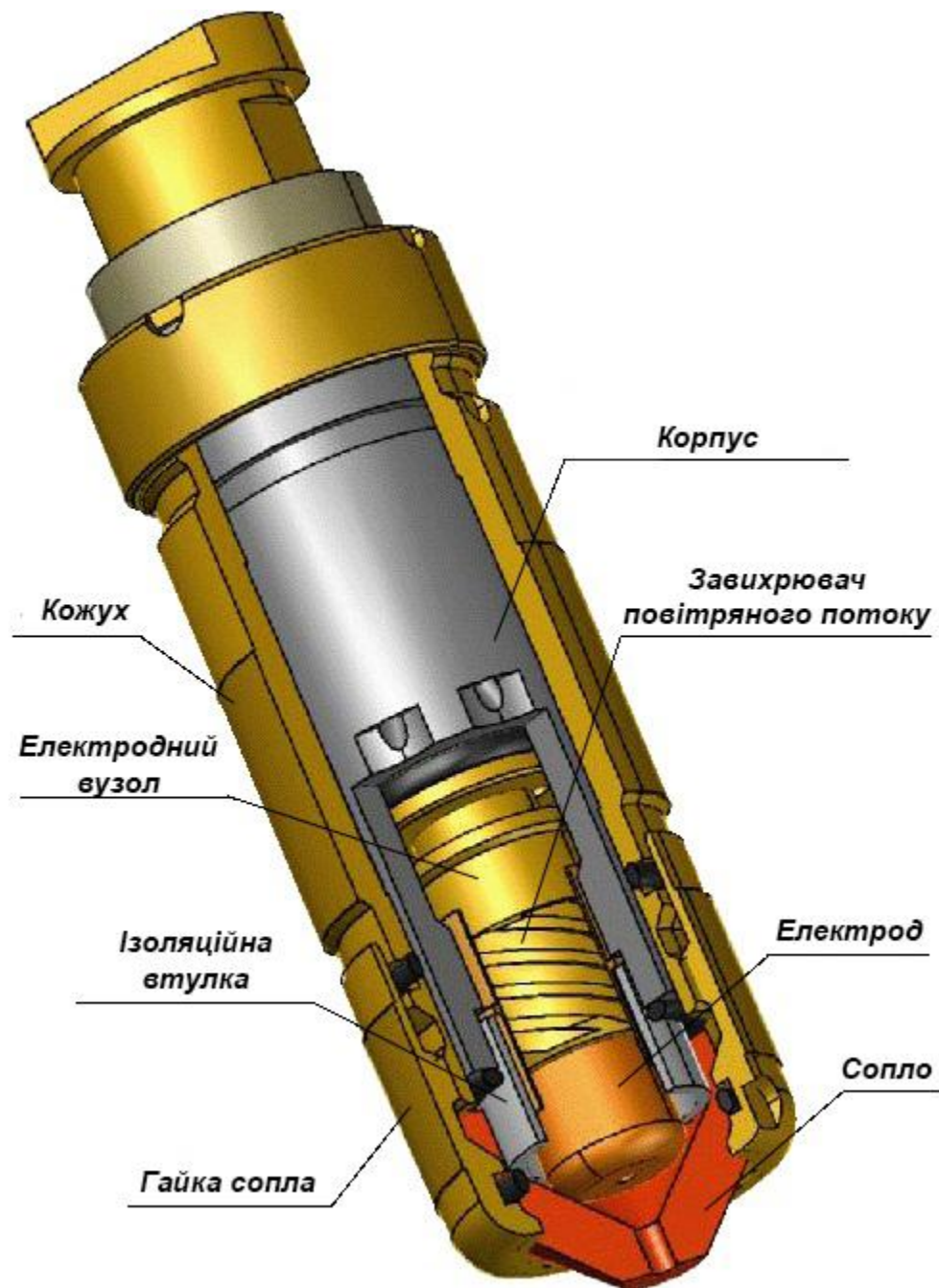


Рисунок 1.1. Конструкція плазмотрона

Частина робочого газу, проходячи через стовп дуги, нагрівається, іонізується і виходить з сопла плазмотрона у вигляді плазмового струменя.

Щільність струму дуги в плазмотронах досягає 100 А/мм^2 [4]. Плазмова дуга, як елемент електричного ланцюга, характеризується електричними параметрами (U , I), а як джерело тепла - тепловими параметрами (температурою і теплоємністю). При різанні листа товщиною δ анодна область занурена в порожнину різу на відстань h_a від верхньої площини листа, що розрізається. В

цьому випадку фронт оплавлення може бути розділений на три ділянки. Перша ділянка розташована між верхньою площиною листа, що розрізається і анодною областю, друга обмежена розмірами анодної області, а третя знаходиться між анодною областю і нижньою крайкою листа, рис.1.2.

На першій ділянці тепловий потік в лінію різу поступає від стовпа дуги. На другій ділянці виділяється тепло, що визначається анодним падінням напруги. На третій ділянці тепло поступає як за рахунок перегріву розплавленого металу на перших двох ділянках, так і за рахунок тепла, що поступає в лист з газового потоку, нагрітого в дузі.

На перших двох ділянках пасивна частина теплового балансу визначається в основному тепловідводом в лист, що розрізається, активна частина –

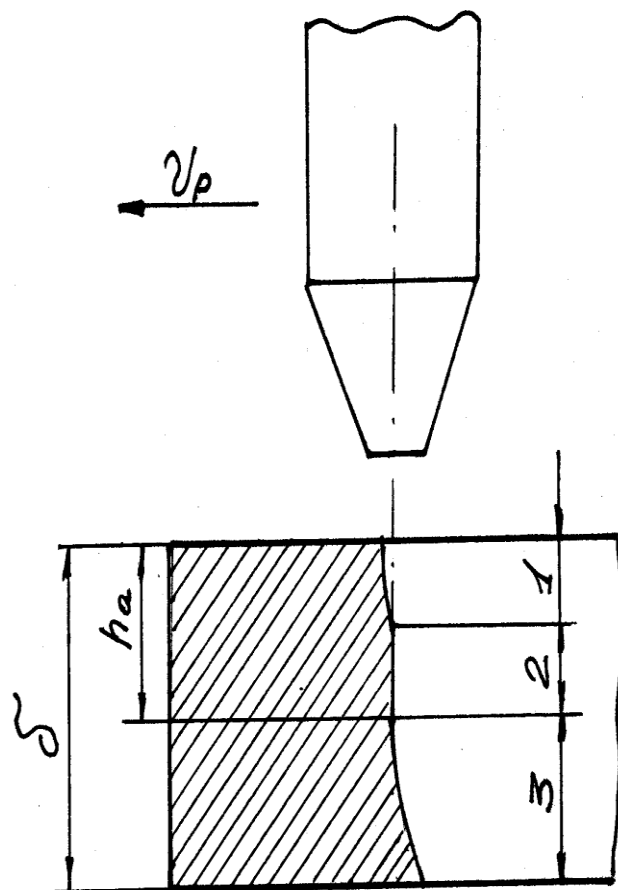


Рисунок 1.2. – Схема плавлення на фронтальній поверхні різі: h_a – глибина занурення анодної області; 1 – тепловий потік від стовпа дуги; 2 – тепловий потік анодної плями; 3 – тепловий потік розплавленого металу і газового потоку.

виділенням тепла в стовпі дуги, який занурений в порожнину різу, і виділенням тепла в анодній області.

Температура газу на перших двох ділянках падає повільно. За анодною областю джерел нагріву немає і тому температура газу падає швидше.

Полярність струму різання також впливає на склад газової фази та синтез хімічних сполук, що утворюються в плазмовому середовищі. Вивченню залежності між полярністю струму та вмістом азоту і водню в металі присвячена велика кількість досліджень в яких в основному розглянуті процеси, що протікають в системі метал-газ при зварюванні [18,19].

Тепловкладення в електрод-анод [20] при роботі плазмотрона на зворотній полярності визначається в основному струмом дуги і мало залежить від вимірів інших параметрів. З огляду на рівність U_{en} , тепловкладення в електрод-анод слід прийняти однаковим для обох випадків. Тоді тепловкладення в соплову частину плазмотрона при різанні не перевищує 0,5 кВт.

Це пояснюється тим, що питомий тепловий потік на внутрішній поверхні отворів стабілізуючого сопла, як мінімум в три рази менше в порівнянні з основним соплом і охолодженням обох сопел потоком повітря. Очевидно, що наявність стабілізуючого сопла не пред'являє додаткових вимог до системи охолодження плазмотрона. Таким чином, для випадку різання теплове навантаження на плазмотрон не перевищує навантаження при різанні на зворотній полярності базовим плазмотроном.

Тепловкладення в плазмотрон при повітряно-плазмовому різанні на прямій полярності $P_{пл} = 6 \dots 11\%$ від повної потужності стислої дуги P_d , що можна порівняти за величиною для досліджуваного способу. Тепловкладення в катод при повітряно-плазмовому різанні (ППР) P_k знаходиться в межах 3-8% від P_d , що практично дорівнює тепловкладенню в електрод-анод при різанні на зворотній полярності з комбінованою подачею газу ($P_a = 5 \dots 7\%$ від P_d). Порівнюючи ці показники, можна відзначити, що теплові навантаження на плазмотрон в цілому і на теплонавантажені елементи при ППР на прямій полярності і плазмовому різанні на зворотній полярності практично однакові.

Говорячи про вплив полярності на тепловкладення в виріб, слід відмітити, що при певних режимах плазмової обробки на зворотній полярності тепловий потік в оброблюваний виріб може досягати значень, порівнянних з тепловим потоком при роботі на прямий полярності. Крім того встановлено, що тепловий потік в виріб при роботі плазмотрона на зворотній полярності в значній мірі визначається емісійними властивостями оброблюваного металу або хімічних сполук на його поверхні. Результати досліджень дозволяють говорити про високий ККД процесів плазмової обробки на зворотній полярності. Це пояснюється підвищенням теплової потужності, що переходить у виріб плазмовим потоком.

Завдання передачі тепла стислою дугою в розрізаний метал розрахунковими методами пов'язано з низкою припущень, які виключають точну кількісну оцінку результатів. У загальних рисах можна відзначити, що вектор ріжучого теплового потоку дуги збігається з вектором швидкості різання, а інтенсивне виплавлення металу проводиться за рахунок теплопередачі від переднього фронту стовпа дуги, зануреного майже на всю товщину металу.

При оцінці теплової ефективності процесу різання можна скористатися результатами оцінки енергетичного балансу стислої дуги зворотної полярності. Втрати потужності в плазмотрон і навколишнє середовище незначні і не перевищують в сумі 12-15% від P_d . Таким чином, тепла потужність, що передається у виріб, для досліджуваного способу, як і для ППР, $P_i = 83 \dots 88\%$ від P_d . Частина її корисно витрачається на виплавлення металу з порожнини різу (P_p), а частина, що залишилася (P_m) передається в кромки різу. Більшу частину P_i в досліджуваному способі забезпечує потужність, що передається виробу плазмовим потоком P_i . Теплову потужність, витрачену на різання металу P_p , можна визначити, знаючи швидкість різання і ширину різу.

На даний час використовуються плазмотрони для різання в повітряному плазмоутворюючому середовищі з плоскими плівковими катодами з цирконієвими або гафнієвими осьовими циліндричними вставками. Необхідність фіксації катодної плями ріжучої дуги в центрі торця такої вставки

вимагає стабілізації дуги інтенсивним вихровим потоком стисненого повітря, що викликає не рівноцінність умов термічної дії на праву і ліву крайки різку [19-21]. Анодна пляма, обертаючись за годинниковою стрілкою за рахунок кінетичної енергії плазмового потоку, не може перескочити через ширину різку. За рахунок затримки дуги на правій кромці різку збільшується теплопередача до цієї сторони, що позначається на якості різання та перебіг процесів хімічної взаємодії металу, що розрізається з компонентами плазмового струменя.

В якості плазмоутворюючих середовищ для обробки низьковуглецевих низьколегованих і середньо-легованих сталей використовують повітря, кисень, азот та його суміші з воднем. Застосування плазмоутворюючих сумішей, до складу яких входить кисень, дозволяє використовувати при різанні як електричну, так і хімічну енергію. Різання в цьому випадку є частково процесом виплавки і частково процесом вигорання металу з порожнини різку [6].

Кисень в складі повітря забезпечує введення додаткової енергії за рахунок протікання екзотермічної реакції з розплавленою сталлю. Додаткова енергія дозволяє підвищувати швидкість різання приблизно на 25% у порівнянні з різанням азотом. При використанні в якості плазмоутворювального газу для різання вуглецевої сталі азоту утворюється більша кількість окалини і звичайним явищем є азотування або загартування вирізаної крайки.

У роботі [22] по дослідженню параметрів плазмво-дугового нагріву, які б визначали характер розподілу температури по глибині нагрітого шару, встановлено, що важливими технологічними параметрами при тепловій обробці матеріалів є ефективна щільність теплового потоку (питома потужність) q на поверхні нагрівання і швидкість рухомого теплового джерела γ (або час його впливу t при імпульсному режимі роботи). З цього випливає, що, при заданих: законі зміни теплофізичних констант матеріалу від температури і розмірів нагрітого виробу розподіл температурних полів по його перетину однозначно визначається поєднанням q і V . З цього випливає висновок про існування порогового рівня нижче значення якого теплове джерело буде обмінюватися теплом з напівнескінченним тілом, а останнє, в силу своїх теплофізичних

можливостей, здатне поглинати теплову енергію нескінченно довго. При рівній або більшій питомій потужності час дії джерела необхідно зменшити (або швидкість руху збільшити), щоб уникнути оплавлення поверхні. При більш високому рівні питомої потужності q починається черговий етап зміни агрегатного стану – випаровуванням, а зміною швидкості переміщення джерела можна регулювати глибину поширення фронту випаровування матеріалу. За інших рівних умов значення порога плавлення і випаровування може незначно змінюватися в залежності від закону розподілу потужності по плямі нагріву даним джерелом. Однак, для інженерних розрахунків доцільно спрощувати схему теплового джерела, замінивши його іншим з рівномірно розподіленою потужністю, але іншого ефективного розміру. Така заміна була методично обґрунтована і описана в роботах академіка Н.Н.Рикаліна.

Теоретично і експериментально показано, що плазмова дуга при промисловій частоті різання може бути представлена смуговим тепловим джерелом, що швидко рухається з рівномірною щільністю теплового потоку, нульовими початковими і граничними умовами 2-го роду (ГУ2), за прийнятою в теплофізиці класифікацією. Розрахунок температурних полів, по відомим для даної теплової задачі аналітичним виразами, як по глибині нагрітого шару, так і в часі дав хороший збіг з реальними термограмами сталевих зразків, що нагріваються теплом повітряно-плазмового струменю. Визначено, що в реальному діапазоні режимів нагріву на глибині 0,5 мм від поверхні середня швидкість нагріву складає ~ 2000 град/с, а товщина загартованого шару для сталі з вихідною ферито-перлітною структурою визначається глибиною залягання ізотерми порядку 950-1000 ° С.

Встановлено, що на відміну від інших джерел при нагріванні повітряного плазмового потоку в поверхневому шарі технічного заліза і сталі формується особлива структурна багатошарова композиція. Поверхневий оплавлений шар має високодисперсну дендритну будову з утворенням дендритів до поверхні нагрівання в рівновісній зернової будові. Цей шар при нагріванні попутно легований азотом зі складу плазмоутворюючого повітря. У технічному залізі це явище особливо

помітно і мікротвердість в шарі після гартування підвищується до 7000-8000 МПа.

Далі йде найдовша ділянка (70-80% глибини зміцненого шару) - зона дрібногострого мартенситу з максимальною для даної марки сталі твердістю після загартування.

При м'яких режимах нагріву (малі q і V) в структурі можлива поява зони перехідних структур від дрібногострого мартенситу до структури сталі в початковому стані. Розмір цієї зони збільшується також у разі недостатньої підготовленості вихідної структури до аустенізації (груба будова, наявність структурно-вільного фериту і т.д.).

У процесі вивчення тонкої структури і фазового складу сталі після повітряно-плазмового зміцнення виявлено, що зі збільшенням ступеня нерівноважності процесу нагріву (збільшення q і V) спостерігається підвищення щільності дефектів кристалічної будови, структурних мікронапружень і концентраційної неоднорідності твердих розчинів, аналогічно як це відбувається при нагріванні іншими джерелами.

Встановлено, що мартенсит в структурі сталі після повітряно-плазмового зміцнення схильний процесам розпаду в момент його утворення і загартувального охолодження і тому має більш високу стійкість до знеміцнення при подальшому відпуску в порівнянні з загартуванням по стандартному режиму. Підсилення розпаду мартенситу при загартуванні пояснюється більшою глибиною і тепловмістом шарів, нагрітих плазмовим потоком, і зменшенням з цієї причини швидкості охолодження шару при кондуктивному тепловідводі в тіло виробу, а також збільшенням в структурі частки низьковуглецевого мартенситу, внаслідок хімічної неоднорідності аустеніту, що утворився в нерівноважних умовах.

Обробка поверхневих шарів сталей плазмою забезпечує поверхнєве зміцнення з формуванням багатошарової структури особливого фазового складу, що надає модифікованим поверхневим шарам заліза і сталей комплексу особливих механічних і експлуатаційних властивостей [23, 25]. Після плазмово-

дугового загартування мікротвердість середньовуглецевої сталі зростає до 8,5 ... 9 ГПа в порівнянні з 7 ГПа після пічного нагріву. Експериментально доведено, що така обробка, підвищує межу текучості, несуттєво зменшує тріщиностійкість. Результати випробувань зразків зі сталі на статичний триточковий згин показують, що найкраще поєднання міцності і пластичних властивостей досягається при загартуванні плазмовою дугою після попереднього об'ємного загартування та відпуску.

Ефект зміцнення залежить від вмісту вуглецю в сталі [24]. Цей ефект різко зростає у сталях з концентрацією вуглецю $\leq 0,5\%$, потім стабілізується і при $\geq 0,7\%C$ і починає зменшуватися, повертаючись до рівня, що досягається в низьковуглецевих сталях. Максимальне зміцнення спостерігається в середньовуглецевих (0,4 ... 0,5% C) і низьколегованих сталях з такою ж масовою часткою вуглецю. Легуючі елементи, що вводяться до складу сталі для збільшення прогартування, підвищують ефект зміцнення в низько- і середньовуглецевих сталях, однак подальше збільшення їх вмісту, особливо при одночасному підвищенні масової частки вуглецю, діє протилежним чином у зв'язку зі зростанням кількості залишкового аустеніту в структурі. Аналогічну дію мають легуючі елементи, що призводять до зменшення інтервалу температур мартенситного перетворення. Однак наявність вуглецю в складі сталі зменшує інтенсивність насичення поверхневого шару азотом з повітряно-плазмової дуги, оскільки ці елементи підвищують термодинамічну активність один одного в розчинах заліза.

У дослідженні [26] структури, йдеться про отримання мартенситу в сплавах заліза з вуглецем після повітряно-плазмового різання. В температурному інтервалі мінімальної стійкості аустеніту швидкість охолодження повинна перевищувати критичну, яка для більшості сталей знаходиться в інтервалі 50 ... 200 ° C / с. Основною відмінною рисою плазмового поверхневого загартування є досягнення дуже високих швидкостей нагріву і охолодження $10^4 \dots 10^6$ ° C/с. Багаторазове збільшення швидкості охолодження не призводить до утворення нових фаз і структур, при плазмовому загартуванні в сталі є ті ж фази і структури,

що і при звичайному загартуванні: мартенсит, залишковий аустеніт і карбіди. Однак суттєво змінюються їх параметри: збільшується ступінь дисперсності, щільність дислокацій, період кристалічної решітки і ступінь тетрагонального мартенситу. Це обумовлює отримання більш високого ступеня зміцнення (більш високої твердості), ніж при об'ємному загартуванню.

Після об'ємного загартування сталь має структуру мартенситу переважно голчастої (пластинчастої) морфології. Основною структурною складовою зони плазмового загартування також є мартенсит. Незалежно від початкового стану сталі, він характеризується дуже високим ступенем дисперсності (неструктурний мартенсит).

Температура нагріву і швидкість охолодження в різних точках ЗТВ суттєво відрізняються. Однак, незважаючи на це, структура загартованої сталі однорідна, як за ступенем дисперсності, так і за значеннями твердості.

Разом з тим, високий ступінь дисперсності і однорідності структури, висока твердість загартованої зони свідчать, що незалежно від механізму фазового переходу істотну роль при плазмовому загартуванні грає дифузійний перерозподіл вуглецю в аустеніті. Але з огляду на дуже високій швидкості нагріву і охолодження, вкрай малої тривалості витримки гомогенізація аустеніту в повній мірі не встигає пройти і високодисперсний аустеніт зберігає певну хімічну неоднорідність по вуглецю.

При плазмовому загартуванні доевтектоїдних сталей важливою особливістю є уповільнення процесів рекристалізації і полігонізації, що створює додаткові джерела (зародки) утворення аустеніту - кордони блоків і дефекти кристалічної решітки. Утворені дрібні зерна аустеніту мають загальну орієнтування в межах вихідних зерен фериту і відповідно, колишнього аустенітного зерна. Межі між однаково орієнтованими зернами аустеніту в структурі загартованої зони на доевтектоїдних сталей металографічно не виявляються.

Як показало дослідження поверхневого зміцнення низьковуглецевих сталей, незалежно від складу сталі, мікроструктура загартованої зони являє

собою досить однорідний високодисперсний мартенсит, плюс залишковий аустеніт та карбіди. Формування такої структури зумовлено малими розмірами аустенітних зерен, що утворилися при високошвидкісному плазмовому нагріванні. Малий розмір аустенітного зерна можна пояснити наступним чином. Незважаючи на дуже високі температури нагріву при оптимальних режимах обробки близькі до температури плавлення, зростання зерна аустеніту, а також його гомогенізація не проходять, через надзвичайно малу тривалість перебування металу при даній температурі і подальшого різкого охолодження. З цих же причин затримується і розчинення карбідів. Тут також позначається і підвищення температури початку α в γ -перетворення при плазмовому нагріванні на 100-150 ° С, що обумовлено високою швидкістю нагріву (понад 10^4 ° С / с).

Підвищення ступеня дисперсності загартованої структури при плазмовому зміцненні обумовлено досягненням високого ступеня тетрагональності мартенситу, щільності дислокацій, а також подрібненням рейок і пластин мартенситу. Поряд з цим важливе значення має і підвищений вміст залишкового аустеніту в структурі загартованої зони, особливо в приповерхневих шарах. Наявність такої великої кількості залишкового аустеніту можна пояснити підвищеним вмістом вуглецю в твердому розчині поверхневих шарів загартованої зони в порівнянні з серцевиною. У міру просування в глиб ЗТВ вміст залишкового аустеніту знижується.

Мікроструктура приповерхневої зони залежить від початкової структури зміцнюваного матеріалу. Для доєвтектоїдних сталей з вихідною ферито-перлітною структурою і заєвтектоїдних сталей з перліто-цементитною структурою в приповерхневій зоні спостерігаються ділянки надлишкових фаз, що представляють собою для зазначених сталей 9ХФ, У8 і Х12М відповідно ферит і цементит. Наявність надлишкових фаз пояснюється реалізацією в приповерхневій зоні перетворень з міжкристалічного інтервалу температур. Дисперсність цих фаз в напрямку від загартованої зони до вихідної структури знижується. У евтектоїдних сталях з вихідною перлітною структурою протяжність приповерхневої зони дуже мала, надлишкові фази тут практично

відсутні, дисперсність мартенситу на кордоні з вихідною структурою дещо нижче ніж в центрі загартованої зони.

При плазмовому зміцненні було виявлено залишкові напруження, що розподіляються по глибині і ширині ЗТВ. На поверхні ЗТВ спостерігалися значні напруження стиснення, що досягають значень поблизу осьової лінії загартованої зони 1320 МПа, що набагато вище, ніж при використанні більшості традиційних методів поверхневого зміцнення (490-980 МПа після наклепу дробом, 590 МПа після гарту ТВЧ, 880-1270 МПа після азотування). За межами загартованої зони напруження стиснення на поверхні переходять в напруження розтягу. На відстані 1 мм від краю зони вони становлять 115 МПа. При зміцненні з перекриттям ЗТВ в зоні перекриття на поверхні також виникають напруження розтягу, рівні 30- 80 МПа. Наявність великого напруження стиску є важливим фактором, що вказує на можливість підвищення працездатності деталей після зміцнення, в першу чергу, деталей, що експлуатуються при циклічних і знакозмінних навантаженнях.

Про структуру та властивості сталі після повітряно-плазмового різання йдеться у роботі [27], де говориться, що після процесу різання можна виділити фактично три складових зони впливу: перша - дуже тонкий шар металу, котрий зазнав при різанні оплавлення, твердість якого максимальна, друга - шар металу з досить великою зміною твердості і завтовшки приблизно 2 - 3 мм, і третя - шар металу з незначною зміною твердістю.

Отримані результати показують, що після плазмового різання знеміцнення металу і зменшення внутрішніх напружень в зоні впливу не спостерігається, навпаки, наявне деяке зміцнення на поверхні різ з розширенням зони впливу.

Фактично зона впливу при плазмовому різанні сталі може бути значно більше, ніж та, що виявляється безпосередньо після плазмового різання. Про це свідчать дані щодо впливу низькотемпературної та високотемпературної термообробки на стан сталі в зоні різ. Різниця в зміцненні сталі після загартування з температур фазового перетворення може бути пов'язана з відмінністю в хімічному складі і будові формуючих фаз.

У дослідженні [28] йдеться про підвищення твердості поверхневих шарів дискових ножів шляхом плазово-дугового загартування по робочим крайках. Плазове зміцнення без оплавлення поверхні призвело до формування в зміцненій зоні сильно неоднорідної структури. Внаслідок не завершеності процесів аустенітизації в зміцненому шарі утворився мартенсит + нерозчинений цементит + залишковий аустеніт. Після плазового загартування утворюється велика кількість залишкового аустеніту, але твердість при цьому значно вище, ніж при традиційній термічній обробці [29].

Термін служби дискових ножів на більшості металургічних заводів в даний час вкрай низький. Знос ріжучої кромки дискових ножів відбувається не через низьку ударну в'язкості сталі 5XB2C в цілому, а через місцеве локальне окрихчення металу, що відбувається при експлуатації. Таким чином, в ножових сталях концентраторами напружень не є мікротріщини, а тверді і крихкі складові їх мікроструктури - карбіди, а точніше, локальні скупчення карбідів. Підвищити стійкість ножів можна плазовим загартуванням за рахунок утворення значної кількості залишкового аустеніту в мікроструктурі плазово-загартованих шарів, що діє як демпфер при поширенні мікротріщин і напружень.

Після проведення плазового загартування тріщин на ножах не спостерігалось. Після того, як ніж обробив 200 т металу на агрегаті різання, він піддався плановому перешліфовуванню. При перешліфуванні розкрилися тріщини, що не дозволило приводити їх подальшу експлуатацію, але це, не привело до руйнування ножа. Очевидно, що виявлені тріщини є холодними, та розповсюджуються тільки за зміцнений шару і гальмуються в перехідному шарі.

Можна припустити, що причиною утворення тріщин є наявність значних напружень на поверхні ножів, що викликають утворення тріщин при температурному силовому впливі, який чиниться на них шліфувальним кругом.

Про механізм насичення металу азотом існують різні думки [5]. На процес насичення металу азотом впливає не тільки наявність плівки розплавленого металу на крайках різу, але і контакт цього металу з газами, що знаходяться у випадку плазового різання у збудженому стані. Зокрема, для азоту сталій

рівень концентрації в металі в 2-3 рази перевищує стандартну розчинність. У переплавленому за допомогою дугової плазми металі вміст азоту аномально високий і не тільки перевищує рівноважний рівень, що відповідає парціальному тиску N_2 в газовій фазі, але й перевищує і стандартну розчинність N_2 в рідкому металі. При малих парціальних тисках вміст азоту в металі пропорційний $\sqrt{P_{N_2}}$ і на порядок вище за концентрації, що визначаються із застосуванням звичайних рівноважних даних.

Встановлено, що глибина литої ділянки при повітряно-плазмовому різанні маловуглецевих сталей залежить від швидкості різання і умов змиву плазмою розплаву, що утворюється на лобовій поверхні різу в результаті проплавлення дії дуги і екзотермічної реакції окиснення заліза киснем стабілізуючого повітрям [31].

У роботі [32, 33] досліджено газонасичення крайок деталей, вирізаних плазмовим різанням, спектрально-ізотопним методом визначенні газу в поверхневому шарі металу за допомогою оптичного квантового генератора. Розподіл вмісту азоту від поверхні різу углиб крайки сталі Ст3сп визначався з пошаровим зняттям металу з боку різу. Оплавлена пляма на поверхні зразка у момент екстрагування газу з металу мала діаметр 4 мм і глибину 20 мкм. Максимальне значення вмісту азоту досягає 8,7% в крайці різу і різко зменшується до рівноважного вмісту в сталі.

Максимальне значення вмісту азоту в газонасиченому шарі залежить від умов різання і може досягати 0,2...0,5 % [34]. Аналогічні значення концентрацій азоту одержані на глибині 0,025 мм.

Авторами робіт [24,35] показано, що важливим явищем, яке обумовлює формування нетривіальної структури в поверхневих шарах металу при обробці повітряною скануючою плазмовою дугою, слід вважати легування тонкого поверхневого шару атомарними продуктами дисоціації плазмоутворюючого повітря і, перш за все, азотом. Таке поверхнєве азотування технічного заліза призводить до утворення структури, що складається з азотистого мартенситу і залишкового аустеніту. Зона насичення в армко-залізі має не чітку границю,

характерну для дифузійних шарів. Мікротвердість по товщині шару неоднакова: ближче до поверхні вона становить 4,2 ... 6,2 ГПа, а в зоні голчастої будови зростає від 7,8 до 12,9 ГПа (місцями до 15 ГПа) при вихідній твердості 2,1 ... 2,4 ГПа. При швидкому охолодженні відбувається $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення, а в структурі поверхневого шару армко-заліза визначено значну кількість залишкового аустеніту. Виявлені фази є пересиченими розчинами впровадження в системі Fe-N. Розпад азотистого мартенситу і залишкового аустеніту при відпуску призводить до утворення гетерогенної суміші азотистого фериту і нітриду заліза Fe_4N [30].

В роботах [37,38] вказується на роль теплових напружень в структуроутворенні при нагріванні концентрованими потоками енергії (КПЕ). При швидкісному нагріванні напруження практично миттєво виникають в локальних мікрооб'ємах поверхні, що нагрівається, які оточені («бандажовані») холодними стінками ненагрітого металу. Після обробки в зернах аустеніту, в межах кордонів, виявлені множинні лінії ковзання, що змінюють свій напрямок при перетині двійників відпалу. У деяких зернах спостерігається ковзання в декількох площинах, що свідчить про реалізацію стадії множинного ковзання при пластичній деформації. [30].

Відомо, що атоми впровадження зміцнюють твердий розчин значно сильніше (на один-два порядки), ніж атоми заміщення. Ця відмінність пов'язана з великим значенням параметра розмірної невідповідності для елементів впровадження в металах.

Найбільший ефект зміцнення на твердий розчин на основі заліза мають вуглець і азот. При цьому перевагою азоту є його більша розчинності в α - і γ -залізі. В роботі [39] вказується, що атоми впровадження викликають сильніші анізотропні пружні спотворення матричної решітки, ніж атоми заміщення, які обумовлюють утворення в решітці розчинника симетричних спотворень. Згідно [38], при розчиненні домішок впровадження, наприклад вуглецю і азоту, в більшості низьковуглецевих ферито-перлітних і аустенітних сталях припустиме

лінійне співвідношення між добутком межі текучості і концентрацією розчиненого елемента.

На основі огляду літератури встановлено мету роботи та поставлені задачі для реалізації даної мети.

Метою роботи є закономірностей впливу чинників та технологічних факторів що впливають на механічні властивості поверхні сталевих виробів при їх обробці азотовмісною плазмою при плазмовому різанні.

Для досягнення даної мети сформовано наступні задачі:

- Визначення чинників за рахунок яких відбувається зміна механічних властивостей поверхні сталевих виробів;
- Визначення товщини поверхневого шару у якому відбувається модифікування;
- Аналіз технологій різання які будуть забезпечувати точні розміри та потрібні механічні властивості кромки сталевих виробів.

Висновки:

1. Найбільш поширеним способом термічного різання є повітряно-плазмові різання. В якості плазмоутворюючого газу найбільш високе використання має повітря.
2. Встановлено, що в процесі повітряно-плазмового різання поверхня сталевих виробів зазнає зміни структури та механічні властивості.
3. Більшість джерел вказують на зміну структури у поверхневій зоні різання, в якій утворюється азотовмісний мартенсит та залишковий аустеніт. Але вплив окремих факторів та конструкції пальників не є однозначними.

2. Методики проведення досліджень та матеріали

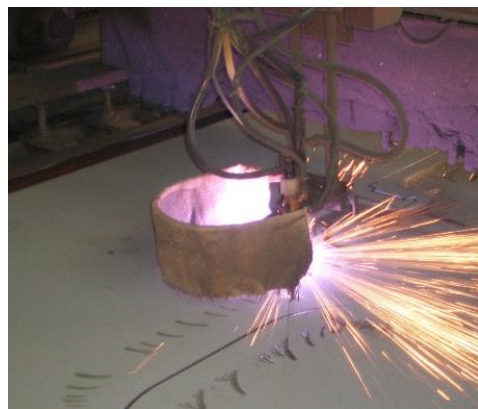
Для перевірки впливу складу плазмоутворювального середовища та технологічних параметрів процесу плазмового різання на насичення крайок різку азотом та структурні зміни в зоні термічного впливу виконували різання пластин довжиною 0,5 м із сталі Ст3сп і товщиною 4 мм. Плазмові різання виконували на серійній машині «Кристал ТПл-2,5» (рис.2.1,а) з джерелом живлення АПР 401 і плазмотроном ПМР-74М (рис.2.1,б) з гафнієвою катодною вставкою. В якості плазмоутворюючого середовища застосовували технічний азот першого сорту та стисле повітря. Витрати плазмоутворюючого повітря та азоту визначали ротаметром РС-5. Різання виконували на прямій та зворотній полярності.



а)



б)



в)

Рисунок 2.1 – Машина з ЧПК «Кристал ТПл-2,5» (а), плазмотрон ПМР-74М (б) та процес повітряно-плазмового різання (в).

Для визначення величини неперпендикулярності крайок деталей отриманих плазмовим різанням, деталі вимірювали з лицевої та зворотної сторін. Половина різниці розмірів деталей являє собою неперпендикулярність крайок різку.

Якість поверхні різання оцінювали за результатами вимірів показника шорсткості R_z , який визначали за допомогою профілометра-профілографа моделі 252. Для цього виготовляли зразки 20x20x4 мм. Згідно ДСТУ14792-80 за базову довжину приймали відстань 8 мм. Шорсткість вимірювали на базовій довжині в

середній частині (по висоті) різку. Швидкість переміщення датчика складала 300 мм/хв, а руху стрічки – 60 мм/хв, вертикальне збільшення – 5 x 100.

Для дослідження мікроструктури крайок плазмового різку виготовляли шліфи, які вирізали таким чином, щоб можна було досліджувати площину перпендикулярну крайці різку. Для визначення мікротвердості азотованого шару та металу ЗТВ використовували «косі шліфи» з кутом 7-8°. Для збереження гострих крайок шліфів зразки закладали в металеві затиски – струбцини з мідними прокладками, які захищали їх крайки від «завалів». Підготовка зразків проводилася шліфовкою на верстатах з послідовним використанням електрокорундового шліфувального паперу і шліфувального паперу мікронної зернистості. Шорсткість поверхні шліфа після обробки складала близько 0,5 мкм.

Полірування мікрошліфів виконували механічним способом на верстаті з горизонтальним диском, обтягнутим приладовим сукном. Для виявлення структури крайок плазмового різку застосовувалося хімічне травлення в 2% розчині азотної кислоти в етиловому спирті.

Дослідження мікроструктури крайок плазмового різку проводили на металографічних мікроскопах NEOFOT-21, а також на растровому електронному мікроскопі-мікроаналізаторі РЭММА-102.

Мікротвердість металу визначали за допомогою приладу ПМТ-3 при навантаженні 20...40 Гс.

Вміст азоту в крайках різку визначали методом відновлювального плавлення в середовищі інертних газів за допомогою аналізатора серії ТС-500. Точність вимірювання вмісту азоту складала 0,25 ppm або 0,5% відносних. Калібрування прибору здійснювали по газовій дозі визначеного складу. Нагрівання зразків для аналізу здійснювали в імпульсній печі потужністю 7,5 кВт. Зразки для досліджень виготовляли у вигляді стружки, яку знімали шляхом фрезерування крайок модифікованих плазмовим різанням поверхонь з кроком по глибині зміцненого шару 0,1 мм. Зразки з основного металу розмірами 4x4x5 мм виготовляли механічним вирізанням.

3. Визначення впливу параметрів режиму плазмового різання та плазмоутворюючого середовища на структуру та властивості робочої крайки

3.1. Вплив складу плазмоутворюючого середовища та полярності плазмової обробки на вміст азоту

В роботах [39-41] вказується, що при визначенні вмісту розчиненого азоту в сталі необхідно враховувати вплив і інших газів, які наявні в плазмовому середовищі. Зокрема відмічається, що в присутності водню розчинення азоту в металі сповільнюється, а виділення прискорюється. За своїм впливом на взаємну розчинність гази можливо розташувати в наступній послідовності: кисень, водень, азот. Газ, який стоїть в ряду першим, перешкоджає розчиненню наступного газу, займаючи його місце в кристалічній ґратці металу. Наприклад, кисень зменшує розчинність водню, а водень – розчинність азоту, але наявність в газовому середовищі кисню сприяє підвищенню концентрації азоту в металі. Підвищена розчинність азоту в присутності в газовій фазі кисню пояснюється утворенням оксиду азоту NO, який легко розчиняється в сталі. За даними роботи [34] максимальний вміст азоту при застосуванні суміші газів кисень-азот досягається при парціальному тиску азоту в суміші близько 0,6 від загального тиску. Оскільки в повітрі вміст азоту складає близько 78 %, а кисню 21%, то стисле повітря можна вважати найкращим середовищем, що забезпечує азотування поверхневого шару сталей. При використанні чистого азоту його вміст в металі приблизно в 2 рази нижче ніж при застосуванні повітря.

Для перевірки виконували плазмове різання із застосуванням в якості плазмоутворюючого середовища повітря та азоту при витратах газу 100 л/хв при постійному тиску і діаметрі сопла плазмотрона. Швидкість різання складала 1 м/хв. Вміст азоту в крайках оцінювали по товщині азотованого («білого») шару. За таких умов товщина азотованого шару в середній частині по товщині досліджуваних зразків при різанні повітрям складала від 0,3 до 0,5 мм, а при застосуванні азоту зменшувалася до 0,2...0,3 мм, що свідчить про доцільність застосування саме повітря. Встановлено, що на поверхні різку утворюється

суцільний білий шар, поверхня різку має глибокі борозни та на зворотній частині утворюється грат, який міцно зв'язаний з основним металом (рис.3.1).



а)



б)

Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд заготовок вирізаних азотом (а) та повітрям на зворотній полярності струму (б).

Для перевірки впливу полярності струму різання на насичення крайок азотом проводили дослідження з застосуванням плазмотрона ПВ-47 та джерела живлення ВПР602. В якості плазмоутворюючого середовища застосовували стисле повітря.

Встановлено, що на поверхні різку утворюється суцільний білий шар товщиною до 0,3 мм, але поверхня різку має значну шорсткість, а крайки різку суттєву неперпендикулярність, до 10-12°. На зворотній частині різку утворюється щільний грат, видалення якого утруднене (рис. 3.1,б). Результати металографічних (рис.3.2) досліджень повітряно-плазмового різання на зворотній полярності струму на насичення крайок різку азотом та мікротвердість азотованого шару і ширину ЗТВ наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Вплив повітряно-плазмового різання на зворотній полярності струму на насичення крайок азотом

Плазмоутворююче середовище	Глибина азотованого шару, мм	ЗТВ, мм	Мікротвердість Н ₂₀ , МПа, крайка різку → основний метал
Повітря (зворотна полярність)	Суцільний білий шар до 0,3	0,43	6330, 5760, 3770, 3210, 2270



Рисунок 3.2 – Мікроструктура крайок різь виконаного на зворотній полярності струму при застосуванні повітря; $\times 100$

Зменшення товщини білого шару та ширини ЗТВ при різанні на зворотній полярності пов'язано з тим, що азот більш ефективно розчиняється в рідкому металі у вигляді протонів. Надлишок електронів на катоді зміщує вліво реакцію утворення протонів,



що призводить до зменшення вмісту іонізованих атомів азоту на ділянці взаємодії плазмового струменя з розплавом металу, що розрізається та може суттєво впливати на вмісту азоту в литому шарі крайки різь.

Виходячи з отриманих даних в подальшій роботі різання на зворотній полярності струму не проводили.

3.2. Вплив технологічних параметрів повітряно-плазмового різання на якість крайок різь.

Виходячи з існуючих рекомендацій [5], в якості критеріїв при виборі оптимальних параметрів режиму плазмового різання розглядали форму крайки різь, шорсткість поверхні та наявність грату.

Характер плавлення металу при різанні визначається інтенсивністю дії теплового потоку плазмової дуги. Щільність теплового потоку, що вводиться на різних по висоті ділянках фронтальної поверхні різь (рис. 1.2.) залежить від переміщення анодної плями плазмової дуги за рахунок моменту потоку плазми, її взаємодії з холодним оточуючим середовищем та виникаючих сил електромагнітного походження. На відхилення крайок різь від перпендикулярності впливає напруга дуги, склад, тиск та витрати

плазмоутворюючого середовища, сила струму, відстань від сопла плазмотрону та виробом, швидкість різання.

На початковому етапі досліджували вплив тиску плазмоутворюючого повітря на формування крайок різу при фіксованому діаметрі сопла 3 мм та швидкості різання 0,7 м/хв.

Значення неперпендикулярності крайок різу Δ , визначалося шляхом виміру ширини різу в верхній та нижній частині (рис.3.3.). Різниця між цими значеннями поділена на 2 визначала відхилення крайок різу від перпендикулярності. Дана формула відображає визначення величини неперпендикулярності:

$$\Delta = \frac{L_1 - L_2}{2}$$

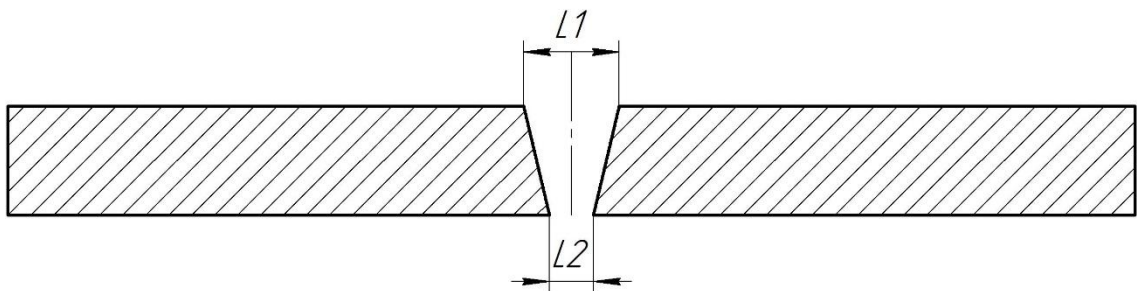


Рисунок 3.3 Значення ширин різу які використовуються для визначення неперпендикулярності

Допустимі величини відхилень регламентуються ГОСТ 14792-80 «Деталі і заготовки, що вирізаються кисневим та плазово-дуговим різанням. Точність, якість поверхні різу». Цей стандарт розповсюджується тільки на деталі і заготовки, що вирізаються механізованим кисневим і плазовим різанням з листової сталі різних типів: низьковуглецевої, низьколегованої, високолегованої, корозійностійкої, жаростійкої і жароміцної, а також на деталі з листів алюмінію і його сплавів. Межі товщини від 5 до 100 мм для кисневого різання і від 5 до 60

мм - для плазмового. Стандартом передбачені три класи точності для деталей і заготовок однакових розмірів.

Як показали дослідження, результати яких наведені нижче, вимоги першого і другого класів точності забезпечуються при використанні порталних машин з числовим програмним управлінням за умови вжиття заходів для забезпечення точності їх роботи на рівні, зазначеному в паспорті машини. Точність по другому і третьому класам забезпечується машинами з фотоелектронним управлінням за умови забезпечення необхідної точності виготовлення копiркреслень не менше $\pm 1,0$ мм. Значеннями допусків третього класу точності можна керуватися для деталей, вирізаних переносними машинами і ручними різакми.

У табл. 3.2 наведені норми допустимих відхилень від номінальних розмірів при плазмовому різанні, встановлені ГОСТ 14792-80. Допустимі відхилення від прямолінійності визначаються як половина допуску на розмір.

Таблиця 3.2 Допустимі відхилення розмірів від номінальних, встановлених по ГОСТ 14792-80

Клас точності	Спосіб різання	Товщина листа, мм	Граничні відхилення при номінальних розмірах деталі чи заготовки, мм			
			До 500	Від. 500 до 1500	Від. 1500 до 2500	Від. 2500 до 5000
1	Плазмове і кисневе	5-30 31—60	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$
2	Плазмове і кисневе	5—30 31—60	$\pm 2,0$ $\pm 2,5$	$\pm 2,5$ $\pm 3,0$	$\pm 3,0$ $\pm 3,5$	$\pm 3,5$ $\pm 4,0$
3	Плазмове і кисневе	5—30 31—60	$+ 3,5$ $\pm 4,0$	$\pm 3,5$ $\pm 4,0$	$\pm 4,0$ $\pm 4,5$	$\pm 4,5$ $\pm 5,0$

У табл. 3.3 дані норми допустимих відхилень на неперпендікулярність кромки в залежності від товщини металу, що розрізає.

Таблиця 3.3 Допустимі відхилення перпендикулярності різа, встановлені за ГОСТ 14792-80

Клас точності	Спосіб різання	Норми при товщині розрізуваного металу, мм			
		5-12	13-30	31-60	61-100
1	Плазмове і кисневе	0,4-0,2	0,5-0,3	0,7-0,4	0,5
2	Плазмове і кисневе	1,0-0,5	1,2-0,7	1,6-1,0	1,5
3	Плазмове і кисневе	2,3-1,0	3,0-1,5	4,0-2,0	2,5

Виміри проводилися на серії зразків (не менше 5) вирізаних на однаковому режимі.

Результати досліджень показують, що збільшення тиску повітря з 0,2 до 0,5 МПа призводить до суттєвих змін форми крайки. При тисках до 0,3 МПа не вдається уникнути формування щільного ґрату. Збільшення величини тиску повітря сприяє зменшенню шорсткості поверхні та утворенню на ній борозн, кут нахилу яких до напрямку швидкості різання збільшується. При максимальних значеннях тиску цей кут наближається до 90^0 (рис. 3.4). При цьому зменшується відхилення від перпендикулярності крайок різку. Збільшення тиску вище 0,5 МПа при постійних енергетичних параметрах плазмової дуги призводить до суттєвого зменшення товщини литого шару на поверхні крайок. Такий характер впливу тиску пояснюється тим, що з його збільшенням зростає швидкість плазмового струменя та ступінь обтиснення плазмової дуги, що є характерним для плазмотронів з завихренням плазмового потоку.



а)



б)

Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд заготовок вирізаних при тиску повітря 0,3 МПа (а) та 0,5 МПа (б).

Вплив витрат плазмоутворюючого повітря та швидкості різання на неперпендикулярність крайок Δ представлені в табл. 3.4 та на рис. 3.5.

Таблиця 3.4 Залежність неперпендикулярності крайок різку від витрат плазмоутворюючого повітря

№ варіанта	Витрати повітря, л/хв.	Швидкість різання, м/хв.	Середнє значення неперпендикулярності крайок Δ , мм
1		0,6	0,77
2		1,0	0,97
3		1,4	1,07
4		1,8	1,12
5		0,6	0,51
6		1,0	0,73
7		1,4	0,88
8		1,8	0,93
9		0,6	0,38
10		1,0	0,58
11		1,4	0,77
12		1,8	0,81

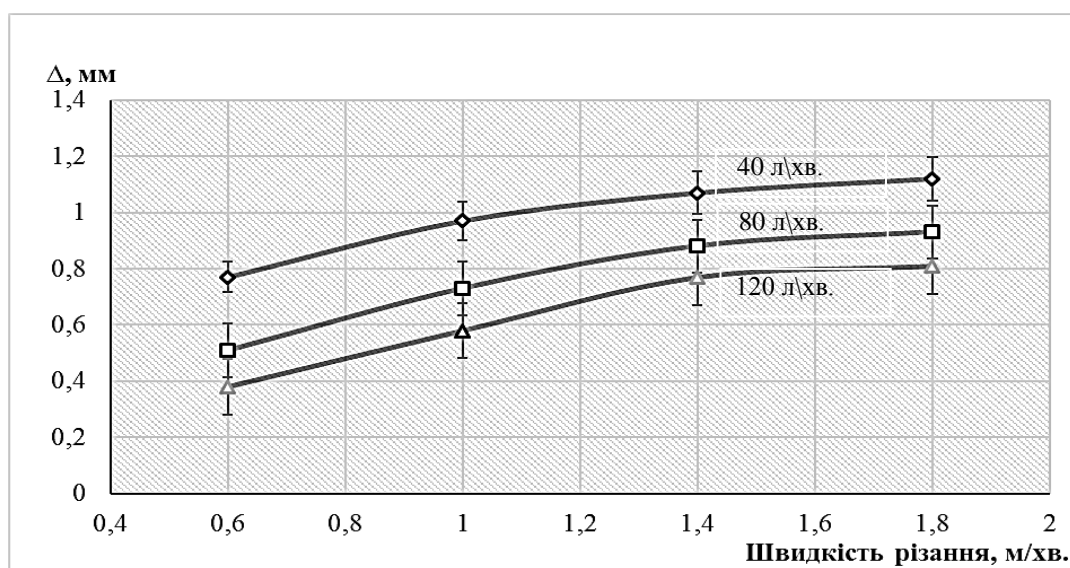


Рисунок 3.5 – Вплив витрат плазмоутворюючого повітря та швидкості різання на неперпендикулярність крайок Δ .

Збільшення витрат плазмоутворюючого середовища призводить до зменшення неперпендикулярності крайок, а збільшення швидкості навпаки до її збільшення. Величина неперпендикулярності залежить від боку розташування крайки відносно напрямку різання. Для різання плазмотронами з завихренням плазмового потоку за годинниковою стрілкою відхилення від перпендикулярності лівої крайки приблизно на 15-25 % більше ніж правої. При цьому значення величини неперпендикулярності є нестабільною величиною на постійних режимах, яка залежить від форми стовпа плазмової дуги. На форму дуги також впливає якість обробки поверхні сопла, його забруднення краплями розплаву та зношення в процесі різання.

Відмінність неперпендикулярності для лівої та правої крайок має суттєвий зв'язок з переміщенням плями нагріву (анодної плями) по поверхні різі. На відміну від безперервного переміщення анодної плями по поверхні циліндричних електродів, при різанні її рух відбувається циклічно. В порожнині різі переміщення відбувається лише по половині циліндра (по бокових та лобовій поверхнях), оскільки в хвостовій частині матеріал видалений. Анодна пляма та ділянка ріжучої дуги переміщуються під впливом динамічного тиску ріжучої плазми та моменту, що виникає при її завихренні. Введення тепла плазми відбувається на ділянках 1 та 2, а на ділянці 3 розігрів металу відбувається під впливом теплового потоку розплавленого металу та газового потоку. На крайці, по якій відбувається рух тенденційної складової плазмового струменя, відбувається шунтування дуги та утворена анодна ділянка переміщується на протилежну сторону поверхні різі під впливом газодинамічної дії. Несиметричність введення тепла в крайки поверхні плазмового різі при стабілізації потоку шляхом завихрення (закручування в певному напрямку, в основному за годинниковою стрілкою) пов'язана з діагональним переміщенням анодної плями по лобовій поверхні різі в напрямку від верхньої частини лівої крайки в нижню ділянку правої крайки. При цьому збільшується глибина занурення анодної плями. Такий характер переміщення опорної ділянки плазмової дуги призводить до збільшення кількості тепла, що вводиться в праву

крайку і неперпендикулярність її зменшується у порівнянні з лівою. Неперпендикулярність крайок різку збільшується зі зростанням товщини металу та швидкості різання.

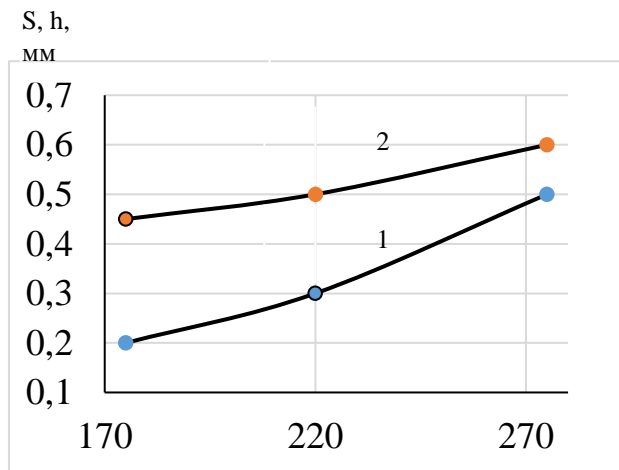
Зменшення неперпендикулярності крайок можливе шляхом вибору оптимальних параметрів процесу повітряно-плазмового різання з урахуванням напрямку вирізання заготовок. При закручуванні плазмового струменя за годинниковою стрілкою напрямок руху плазмотрону при вирізанні заготовок доцільно проводити в правому напрямку, тобто по відношенню до напрямку різання виріб повинен знаходитись справа.

За результатами проведених досліджень по визначенню шорсткості поверхні різку встановлено, що повітряно-плазмове різання забезпечує величину R_z в межах від 50 до 90 мкм.

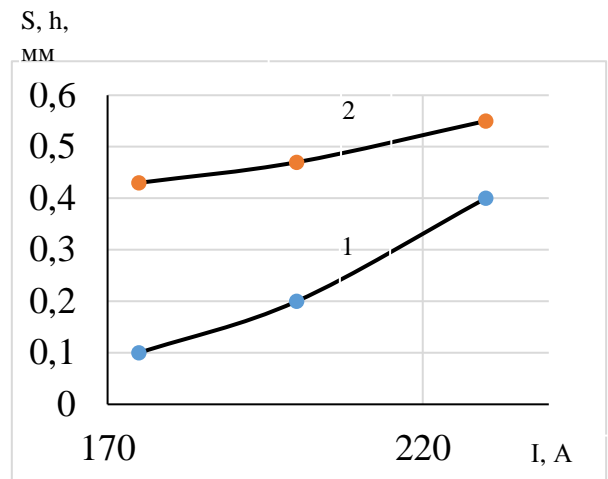
Досліджували вплив величини струму та напруги дуги на характеристики якості крайок різку. Режими та результати досліджень наведені в табл. 3.5 та на рис. 3.6.

Таблиця 3.5 Вплив величини струму та напруги дуги на середню товщину білого шару та ширину ЗТВ при повітряно-плазмовому різанні.

№ зразка	Напруга, В	Струм різання, А	Товщина азотованого шару S, мм	Ширина ЗТВ h, мм
1		275	0,5	0,6
2		220	0,3	0,5
3		175	0,2	0,45
4		230	0,4	0,55
5		200	0,2	0,47
6		175	0,1	0,43



а)



б)

Рисунок 3.6 – Вплив величини струму дуги на середню товщину білого шару (крива 1) та ширину ЗТВ (крива 2) при повітряно-плазмовому різанні при напрузі 300 В (а) та 210 В (б).

Збільшення величини струму різання сприяє підвищенню тепловкладення за постійної швидкості різання, що призводить до зростання ширини ЗТВ та товщини білого шару. Підвищення напруги на дузі сприяє заглибленню анодних плям та збільшенню ділянки нагріву поверхні різку теплом плазмової дуги.

У зв'язку з високою швидкістю переміщення точкового джерела нагріву вздовж поверхні різку спостерігається формування фронту тепла зі значним градієнтом температур на відносно вузькій ділянці, яка прилегла до поверхні різку. Як наслідок, в приповерхневому шарі крайок різку протікають процеси, що супроводжуються змінами хімічного складу, структури та механічних властивостей сталі.

3.3. Дослідження мікротвердості та вмісту азоту в крайках заготовок модифікованих повітряно-плазмовим різанням

При повітряно-плазмовому різанні створюються якнайкращі умови для насичення крайок різку сталевих заготовок азотом. В плазмовій дузі досягаються температури до 6000°C і більше, що сприяє утворенню атомів та іонів азоту, розчиненню якого в розплавленому металі крайок різку сприяє газодинамічний напір плазмового струменя, який забезпечує існування зони підвищеного тиску

в порожнині різь. Висока концентрація енергії на ділянці нагріву призводить до перегріву розплаву металу, що значно підвищує розчинність газів. В результаті концентрованого введення тепла і великих швидкостей переміщення теплового джерела відбувається інтенсивне охолодження крайок різь в першу чергу за рахунок відведення тепла в об'єм холодного основного металу. При цьому розчинений азот залишається «замкненим» в закристалізованому шарі литої ділянки крайки різь.

Досліджували зразки 1-6 вирізані за режимами наведеними в табл. 3.5. Зовнішній вигляд поверхні різь зразка 1 та мікроструктура азотованого шару і ЗТВ наведені на рис. 3.7.

Результати досліджень впливу величини струму та напруги плазмової дуги на розподіл мікротвердості в азотованому шарі та ЗТВ наведені в табл. 3.6 та на рис.3.8.

При металографічних дослідженнях на поверхні крайок не виявлено нітридів, що свідчить про те, що азот в крайках різь знаходиться в стані пересиченого твердого розчину.

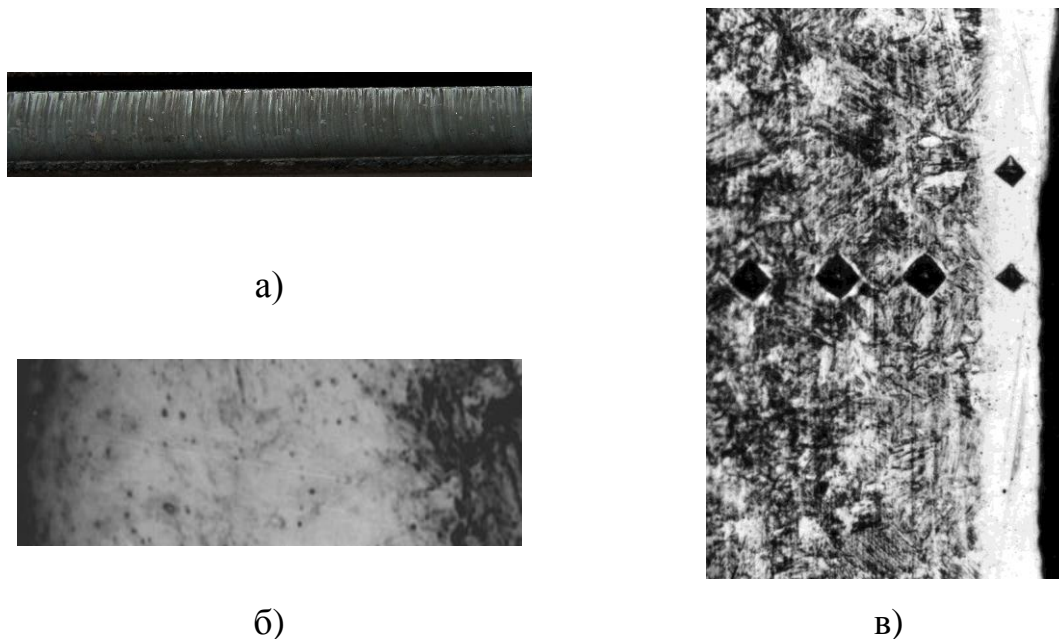


Рисунок 3.7 – Макроструктура поверхні різь зразка 1 (а), мікроструктура азотованого «білого» шару крайки різь (б) $\times 100$ та зовнішній вигляд шліфа з відбитками вимірів мікротвердості (в) $\times 400$ (при друку зменшено в 2 рази)

Таблиця 3.6 Вплив режимів різання на мікротвердість металу крайок

№ зразка	Мікротвердість $H_{\mu 20}$, МПа
	Кромка різу → основний метал
1	8590, 7790, 8870, 5630, 4240, 4320, 3150, 3030, 2380, 2570, 2270, 1790, 2250, 1790 – основний метал
2	7870, 8530, 6720, 4450, 4190, 3730, 4030, 4530, 2370, 2120, 1970, 2030 – основний метал
3	7740, 6720, 6180, 4130, 3770, 3340, 3430, 3080, 2640, 2370, 2140, 1910 – основний метал
4	7830, 7740, 6530, 4370, 3820, 3530, 3130, 4010, 2670, 1910, 2040, 1790 – основний метал
5	7430, 7510, 5930, 5480, 3770, 3410, 2810, 2610, 3220, 2040, 2070, 1840 – основний метал
6	7120, 6720, 5890, 5710, 3730, 3510, 2800, 2670, 3170, 1990, 1910, 1810 – основний метал

При всіх способах плазмового різання має місце збільшення мікротвердості вузького, у самої поверхні крайки, шару металу в порівнянні з мікротвердістю, характерною для ЗТВ і основного металу (лита ділянка ЗТВ).

Найбільшу твердість має азотований шар (рис.3.7,в). В приповерхневій ділянці азотованого шару твердість найвища, від 8590 до 7120 МПа і зменшується по товщині шару до 5220...4130 МПа. Твердість в ЗТВ розподілена нерівномірно. Суттєвий вплив на твердість азотованого шару має напруга на дузі. Зменшення напруги призводить до зменшення максимального значення твердості приповерхневого шару.

Максимальне значення мікротвердості спостерігається на зразках 1 і 4. По крайках різу зразків спостерігається суцільний щільний білий твердий шар, насичений азотом на глибину до 0,5 мм (рис. 3.7,б).

Із збільшенням величини струму повітряно-плазмового різання спостерігається збільшення азотованого шару. Очевидно, збільшення струму викликає зміни умов різання, які супроводжуються зменшенням швидкості переміщення розплаву литої ділянки ЗТВ. Такі зміни обумовлені характером розподілу швидкості плазми по перетину її струменя і зсувом поверхні розділу

$H_{\mu 20}$, МПа

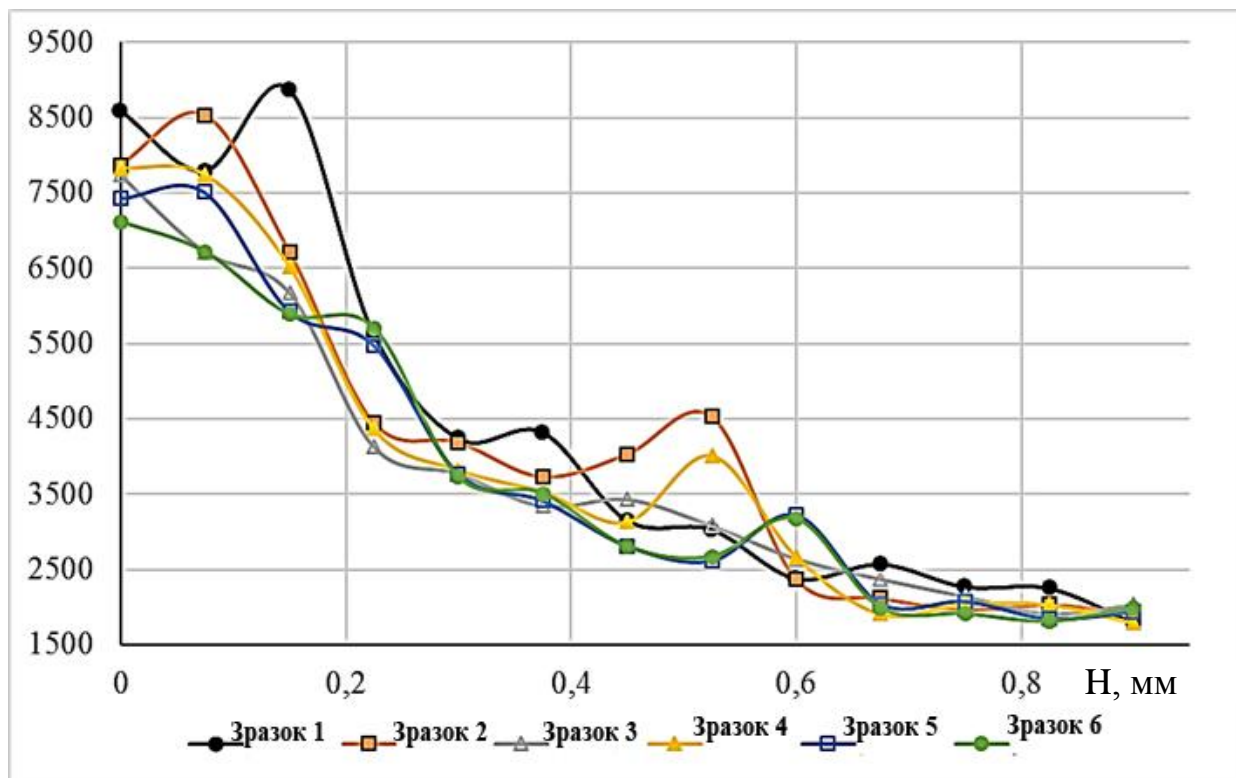


Рисунок 3.8 – Вплив режимів різання на мікротвердість крайок різів (зразки 1-6)

фаз, який відбувається при зміні струму. Ділянка взаємодій плазмового потоку з металом віддаляється від осі плазмового потоку, що призводить до зміни швидкості плазми, що контактує з розплавом. На користь такого пояснення свідчить збільшення ширини різів при збільшенні величини струму дуги. При видаленні від осі швидкість плазми помітно зменшується в порівнянні з її осевим значенням, тому локальна швидкість плазми біля поверхні стікаючого розплаву при збільшенні струму дуги може не тільки не зрости пропорційно її осевому значенню, але виявитися рівною або навіть меншою. Збільшення струму може привести до збереження або до зростання глибини литої ділянки і отже збільшенню глибини азотованого шару.

В подальшому методом відновлювального плавлення в середовищі інертних газів визначали розподіл вмісту азоту в крайках різів. Зразки

виготовляли у вигляді стружки, яку знімали фрезеруванням крайок з кроком по глибині зміцненого шару 0,1 мм.

Результаті досліджень розподілу вмісту азоту по глибині модифікованого шару наведені в табл.3.7 та на рис.3.9.

Таблиця 3.7 Розподіл вмісту азоту по глибині білого шару

Швидкість різання, м/хв.	Струм, А	Напруга, В	Середнє значення вмісту азоту, C_{cp}^N , % на відстані від поверхні, мм				
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
	275	300	0,71	0,15	0,057	0,03	0,02
	230	210	0,57	0,09	0,04	0,02	0,015

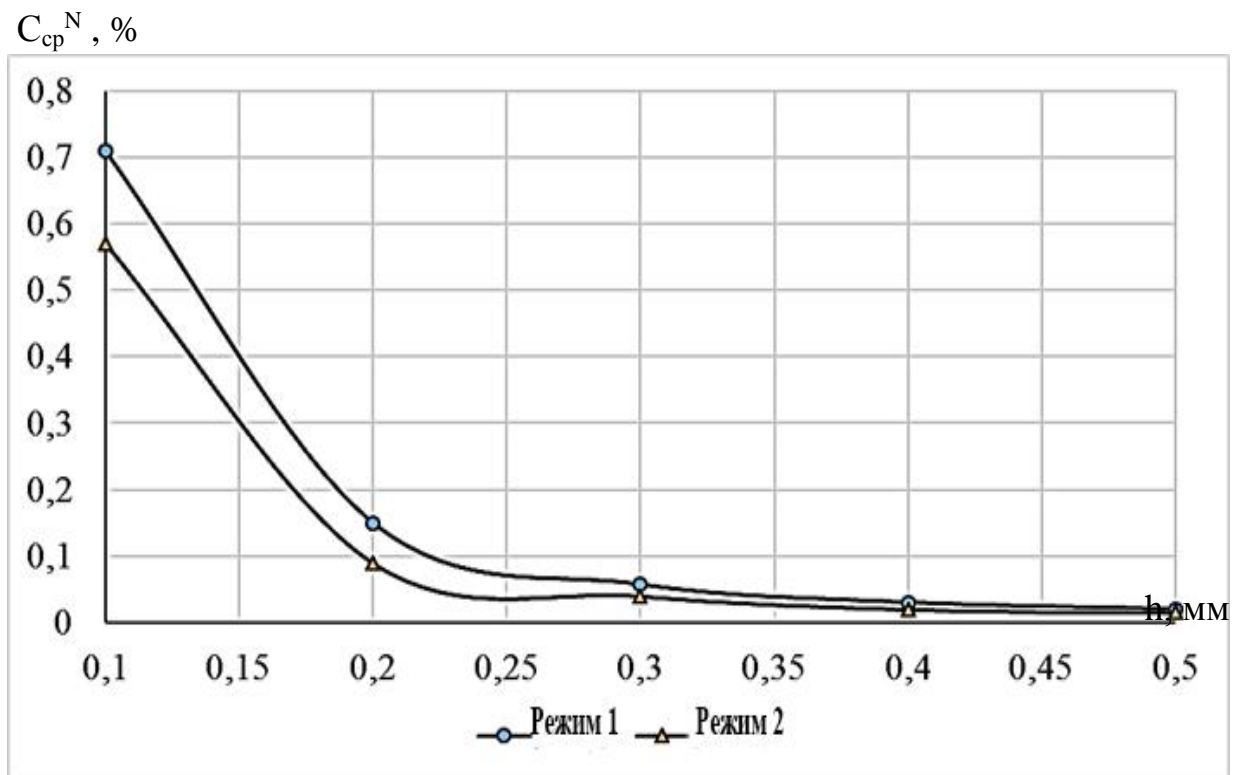


Рисунок 3.9 – Розподіл вмісту азоту по глибині модифікованого шару при швидкості різання 1 м/хв.: 1 – струм 275 А, напруга 300 В; 2 – струм 230 А, напруга 210 В

Аналіз результатів свідчить, що максимальний вміст азоту до 0,71% спостерігається в приповерхневій ділянці. При віддалені від поверхні його вміст швидко зменшується, що добре узгоджується з результатами вимірів мікротвердості. Збільшення напруги сприяє насиченню поверхневого литого

шару ЗТВ азотом. За межами литої ділянки ЗТВ вміст азоту наближається до його рівноважного вмісту в основному металі і складає 0,00947...0,0119%. Таких характер розподілу азоту можна пояснити наявністю значного градієнта температур в литому шарі та малим часом взаємодії розплаву з плазмовим струменем. За межами литої ділянки ЗТВ насичення металу азотом мінімальне, оскільки метал знаходиться в твердому стані, його насичення азотом може відбуватися лише внаслідок розвитку дифузійних процесів, інтенсивність яких пов'язана з максимальною температурою нагріву та часом перебування металу ЗТВ в області високих температур.

В результаті досліджень не виявлено ділянок на яких вміст азоту наближався до рівня 8,7% про що свідчать дані роботи [33]. Це можна пояснити іншою методикою досліджень, зокрема в нашому випадку вміст азоту визначали як середнє значення для шару товщиною до 0,1 мм.

3.4. Дослідження мікроструктури ЗТВ крайок заготовок модифікованих повітряно-плазмовим різанням

Зміна структури металу крайок різу залежить від його хімічного складу і характеру термічного циклу, який при різанні аналогічний характеру термічного циклу при зварюванні.

При повітряно-плазмовому різанні низьковуглецевих та низьколегованих сталей з вихідною ферито-перлітною структурою в ЗТВ часто утворюється шар з ферито-перлітною структурою незвичайного вигляду. В цій структурі перлітні зерна характеризуються значним розгалуженням контуру та при невеликому збільшенні виглядають як би отороченими «бахромою». Природа та морфологія аномальної структури можуть бути пояснені лише на основі теорії фазових перетворень при швидкому охолоджені [42].

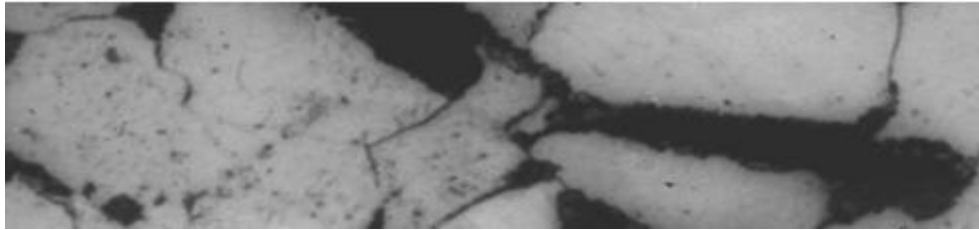
При високій швидкості нагріву можливі три види механізму утворення аустеніту. При відносно невеликій швидкості (менше за 2⁰С/с для сталей з вмістом вуглецю 0,24 % та середньою відстанню *B* між перлітними колоніями 8,72 мкм) має місце лише дифузійне перетворення. Як і у випадку повільного

нагріву, при збільшенні температури трохи вище за A_{C1} починається утворення зародків аустеніту на межі фериту з цементитом. З підвищенням температури відбувається зростання зародків, що виникли та дифузійне переміщення межі аустеніт-ферит в напрямку фериту. Механізм другого виду впливає з нерівномірного розподілу вуглецю та атомів домішок в об'ємі зерна фериту. Границі блоків мозаїки представляють собою мікрооб'єми з вмістом вуглецю до 0,25%, що при певних швидкостях нагріву може призвести до утворення в цих місцях стійких зародків аустеніту, якщо буде досягнута температура 820-840 °C. Третє, бездифузійне утворення аустеніту відбувається в об'ємах вільного фериту, які збереглися до температури A_{C3} . Для сталі з вмістом вуглецю 0,24 % та $B = 8,72$ мкм таке перетворення можливе при швидкості нагріву більше за 45 °C/c [39].

Оскільки швидкість нагріву при повітряно-плазмовому різанні суттєво перевищує 45 °C/c, а відстань між перлітними колоніями – величина того самого порядку, то в нашому випадку відбуваються всі 3 види перетворення.

На рис.3.10 показані мікроструктури відповідних ділянок ЗТВ дослідженої сталі на яких утворення аустеніту отримало різний ступінь розвитку. У вихідному стані перлітні зерна мають плавно окреслені контури та розділені полями вільного фериту. Мікротвердість перліту складає 2270 МПа, фериту 1770 МПа. Нагрів дещо вище за температуру точки A_{C1} призводить до утворення зародків аустеніту всередині перлітних включень та на межі фериту з перлітом. Подальше збільшення температури викликає зростання зародків та поглинання ними перлітних зерен. Наявність сегрегацій вуглецю та атомів домішок по границях зерен та зерногранична дифузія сприяють зростанню швидкості переміщення фронту аустеніт-ферит в напрямку фериту.

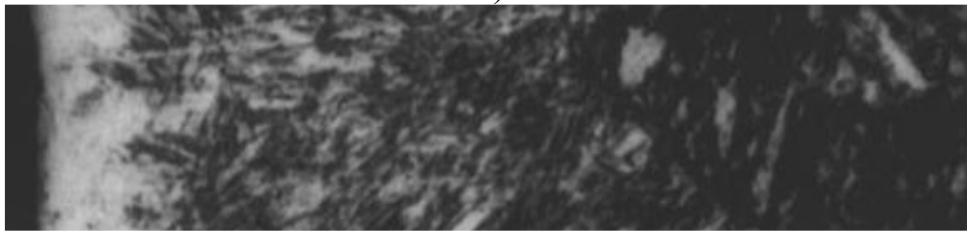
Утворена при швидкому охолодженні на цій стадії процесу структура (рис.3.10,б) близька до початкової. Перекристалізовані перлітні зерна характеризуються більшою зрізаністю контурів і меншою здатністю та інтенсивністю травлення хімічними розчинами. Мікротвердість перлітних зерен складає 3540 МПа, а фериту 1890 МПа.



а)



б)



в)

Рисунок 3.10 – Мікроструктура сталі вихідного металу сталі Ст3 та ЗТВ на різних ділянках після повітряно-плазмового різання: а) - основний метал; б) - середина ЗТВ; в) - крайка різу; х 500

При наближенні до поверхні різу спостерігається поступове збільшення зерен перліту, але загальний характер структури залишається незмінним, що свідчить про те, що зростання об'ємів аустеніту протікає за рахунок дифузійного переміщення фронту аустеніту. Виникнення аномальної структури (рис.3.10,в) пов'язано з утворенням зародків аустеніту по границях блоків мозаїки. Найдрібніші аустенітні утворення розташовані по границях блоків, що попередньо існували у вільному фериті, зливаються між собою та з фронтом, який рухається, що призводить до утворення ферито-перлітної структури незвичайного вигляду при швидкому охолодженні на цій стадії. Великі значення мікротвердості (3500...4500 МПа) в об'ємах колишніх перлітних зерен, свідчить про те, що в них відбувається мартенситне перетворення. Мікротвердість фериту зростає до 2200 МПа, що може бути пов'язано з насиченням вуглецем металу блоків та впливом продуктів перетворення найдрібніших зародків аустеніту. З

підвищенню температури відбувається збиральне зростання граничних зародків та їх розширення в напрямку вільного фериту з подальшим переміщенням границі дифузійного фронту. Коли температура сягає значення, що відповідає t_{Ac3} , утворення аустеніту відбувається у всьому об'ємі, тому метал на цій стадії охолодження отримує однофазну структуру перлітного типу.

Висновки:

1. При використанні в якості плазмоутворюючого середовища азоту товщина азотованого шару зменшується з 0,5 до 0,3 мм. На поверхні різку утворюється суцільний білий шар, поверхня має глибокі борозни, на зворотній частині утворюється грат, який міцно зв'язаний з основним металом.

2. Результати досліджень показують, що збільшення тиску повітря з 0,2 до 0,5 МПа призводить до суттєвих змін форми крайки. При тисках до 0,3 МПа не вдається уникнути формування щільного грату. Збільшення величини тиску повітря сприяє зменшенню шорсткості поверхні та утворенню на ній борозн, кут нахилу яких до напрямку швидкості різання збільшується. Збільшення витрат плазмоутворюючого середовища призводить до зменшення неперпендикулярності крайок, а збільшення швидкості навпаки до її збільшення.

3. Існує відмінність неперпендикулярності для лівої та правої крайок, яка має зв'язок з переміщенням плями нагріву (анодної плями) по поверхні різку і пов'язана зі зміною кількості тепла, що вводиться в праву та ліву крайку. Неперпендикулярність крайок різку збільшується зі зростанням товщини металу та швидкості різання.

4. Збільшення величини струму сприяє підвищенню тепловкладення за постійної швидкості різання та призводить до зростання ширини ЗТВ та товщини білого шару, а підвищення напруги на дузі сприяє заглибленню анодної плями та збільшенню ділянки нагріву поверхні різку.

5. В приповерхневій ділянці азотованого шару твердість найвища до 8590 МПа і зменшується по товщині шару. Твердість в ЗТВ розподілена нерівномірно. Зменшення напруги призводить до зменшення максимального значення твердості приповерхневого шару, а із збільшенням величини струму спостерігається збільшення азотованого шару. Максимальний вміст азоту до 0,71% спостерігається в приповерхневій ділянці.

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

У даному дипломному проекті розглянуто зміцнення поверхні сталевих виробів шляхом обробки азотовмісною плазмою при плазмовому різанні.

Отже, основні проблеми, які розглядаються у даному розділі це - зменшення викиду шкідливих речовин в атмосферу, захист виробничого персоналу від випромінювання в оптичному діапазоні, забезпечення пожежної безпеки і електробезпеки, забезпечення без надійної експлуатацію механізмів і систем, що рухаються, експлуатацію систем, які знаходяться під тиском.

Метою даного розділу є аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, притаманних даному способу різання та розробка заходів щодо усунення або зменшення дії шкідливих та небезпечних факторів при повітряно-плазмовому різанні.

4.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ)

У сучасній техніці застосовується безліч речовин, які можуть надходити в повітря, де знаходяться люди, і становити небезпеку їх здоров'ю. На машинобудівних підприємствах повітря робочої зони може забруднюватись шкідливими речовинами, які утворюються в результаті технологічного процесу при виробництві різноманітної машинобудівної продукції, устаткування, конструкції та елементів машин (зварювання, різання, термічна обробка заготовок, фарбування та ін.), які містяться в металах, з яких виготовляють цю продукцію. Ці речовини потрапляють у повітря у вигляді пилу, аерозолів та газів і негативно діють на організм людини. В залежності від їх токсичності та концентрації в повітрі вони можуть бути причиною хронічних отруєнь або професійних захворювань.

Рівень шкідливого та небезпечного фактору процесу різання, в першу чергу, визначається способом різання, видом і складом (маркою) газу та основного матеріалу. Характер розвитку і тяжкість протікання захворювань працівників, викликаних шкідливими речовинами зварювальними аерозолями, залежить від їх концентрації в зоні дихання.

В даному дипломному проекті, враховуючи специфіку робіт для даної групи сталей, застосовується повітряно плазмове різання сталі.

Відповідно до НПАОП 28.0-1.35-14 [49] при способах плазмового різання на робітника діють шкідливі та небезпечні хімічні і фізичні фактори виробничого середовища, а також психофізіологічні фактори в організації праці, устаткуванні робочого місця й обладнання.

Шкідливі та небезпечні виробничі фактори – , що виникають при цьому способі різання:

1. Виділення шкідливих речовин;
2. Ультрафіолетове випромінювання – невидиме оком людини електромагнітне випромінювання, що посідає спектральну область між видимим і рентгенівським випромінюваннями в межах довжин хвиль 400-10 нм;
3. Видиме випромінювання – електромагнітне випромінювання в діапазоні довжин хвиль 780...380 нм, яке здатне безпосередньо викликати зорове відчуття;
4. Інфрачервоне випромінювання – оптичне випромінювання з довжиною хвилі більшою, ніж у видимого випромінювання, що відповідає довжині хвилі, більшій – приблизно 750 нм.;
5. Шум при різанні;
6. Ураження електричним струмом;
7. Наявність приладів та обладнання, що знаходиться під тиском понад 0,07 МПа.

Шкідливі речовини виділяються в процесі плазмового різання та випаровування металу. Найбільшу небезпеку становить аерозоль, а точніше продукт реакції випаровування металу від дії плазмового струменю. Він практично не осідає з повітря та легко проникає до легенів людини. У зварювальному аерозолі знаходиться до 90 % частинок розміром менше 1 мкм, що робить його особливо шкідливим для організму людини.

Шум, видиме випромінювання та стікання металу з зони різання також притаманні даному способу різання.

При автоматичному повітряно плазмовому різанні, працівник безпосередню участь у процесі не приймає.

4.2. Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці базуються на аналізі шкідливих та небезпечних факторів, проведеному в розділі 4.1.

Захист від випромінювань в оптичному діапазоні:

Для захисту від інфрачервоного випромінювання застосовують:

- екранування джерел випромінювання;
- маски для захисту обличчя;
- спеціальний одяг.

4.2.1 Електробезпека

Основними причинами ураження персоналу електричним струмом є доторкання: до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою в робочому режимі; до струмоведучих частин, що випадково опинились під напругою; до неструмоведучих частин, що опинились під напругою внаслідок пошкодження електроізоляції; ураження електричною дугою та напругою кроку.

Виробничі приміщення з точки зору ураження електричним струмом належать до категорії особливо шкідливих. Експлуатація зовнішніх електроустановок прирівнюється до умов експлуатації в особливо небезпечних приміщеннях [50].

Електротехнічні вироби з точки зору безпеки повинні відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98. В їх конструкції для захисту від ураження струмом в робочому режимі можуть використовуватись:

- ізоляція струмоведучих частин (робоча, додаткова, подвійна, посилена);
- безпечна напруга в електричному колі;
- елементи для захисного заземлення металевих неструмоведучих частин;

виробу, які можуть опинитись під напругою (при пошкодженні ізоляції, порушенні режиму роботи тощо);

- оболонки для запобігання можливості випадкового доторкання до струмоведучих частин та частин, що рухаються і нагріваються;
- блокування для запобігання помилкових дій та операцій;
- екрани та інші засоби захисту від небезпечного і шкідливого впливу електромагнітних полів, теплового, оптичного і рентгенівського випромінювання;
- засоби вилучення небезпечних і шкідливих речовин, що утворюються в процесі експлуатації;
- елементи, призначені для контролю ізоляції та сигналізації щодо її пошкодження, а також для вимикання виробу при зменшенні опору ізоляції нижче від допустимого рівня;
- попереджувальні надписи, знаки, фарбування в сигнальні кольори та інші засоби сигналізації про небезпеку (у поєднанні з заходами безпеки);
- виконання вимог ергономіки.

Для захисту від ураження струмом в аварійному режимі застосовують: заземлення, занулення, вимикання, подвійну ізоляцію. Заземлення застосовують завжди при живленні від мереж з ізолюваною нейтраллю та за наявності мережі з глухозаземленою нейтраллю при напрузі понад 1000 В.

У чотирьох провідних мережах з глухозаземленою нейтраллю використовують систему занулення (заземлення). Зануленню підлягає електрообладнання у виробничих приміщеннях, що живиться струмом з напругою понад 42 В змінного та 110 В постійного струму.

Захисне вимикання – високонадійна швидкодіюча система захисту, яка застосовується в пересувних електроустановках, які використовують як генератор з ізолюваною нейтраллю, а також в інших випадках, коли умови експлуатації потребують високого рівня безпеки.

4.2.2 Вентиляція

Для оздоровлення повітряного середовища в цеху передбачена припливно-витяжна вентиляція за ГОСТ 12.4.021 і СНиП 2.04.05, заміна водяного опалення повітряним за СНиП 2.04.05. Застосування місцевої витяжної вентиляції засновано на наявності невеликої кількості працюючих, а також постійних робочих місць, тому технічно обґрунтовано та економічно доцільно створювати необхідні метеорологічні умови та чистоту повітря безпосередньо на робочих місцях.

У системі припливно-витяжної вентиляції повітря потрапляє в приміщення припливною вентиляцією, а видаляється витяжною, працюючими одночасно. Місце для забору свіжого повітря вибирається з урахуванням переважного напрямку вітру, з місця мінімального забруднення; є найбільш поширеними у промисловості, тому що вони більш повно задовольняють умовам створення нормованих параметрів повітря у робочій зоні виробничих приміщень.

Визначимо кількість повітря, яке буде видалятися відсмоктувачем з розміром входної воронки 0,25м.(див.рис.4.1.).

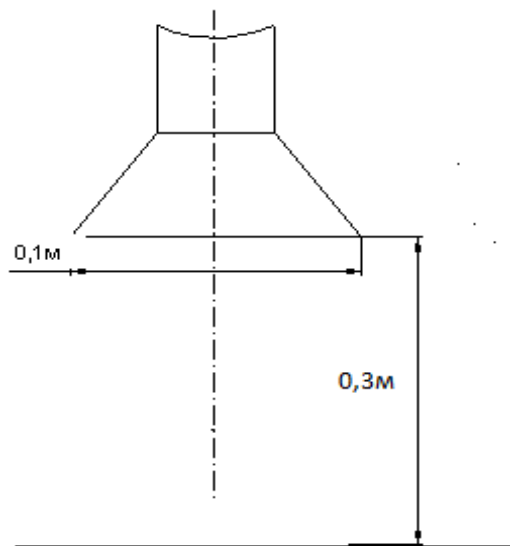


Рис.4.1. Схема місцевої вентиляції

Витрати повітря, що видаляється:

$$L_m = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0,$$

де V_0 – швидкість повітря в отворі відсмоктувача, м/с;

F_0 – площа перерізу витяжного отвору відсмоктувача, м^2 ;

V_x – швидкість повітря в зоні зварювання;

$V_x = 0,3 \text{ м/с}$.

Швидкість повітря в отворі відсмоктувача:

$V_0 = 8 \cdot V_x \cdot (x/d)^2$,

де x – відстань від вхідного отвору воронки до зони зварювання, м

$x = 0,4 \text{ м}$;

d – діаметр вхідного отвору, м;

$d = 0,25 \text{ м}$.

$V_0 = 8 \cdot 0,3 \cdot (0,4/0,25)^2 = 6,144 \text{ м/с}$.

$L_m = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0 = 3600 \cdot 0,0625 \cdot 6,144 = 1382,4 \text{ м}^3/\text{год}$.

Для цих параметрів вибираємо відсмоктувач MASTER 200. Який забезпечує $L_m = 2000 \text{ м}^3/\text{год}$.



Рис. 4.2. Відсмоктувач MASTER 200.

4.2.3 Засоби індивідуального захисту

Згідно з ГОСТ 12.4.011-89 «СББТ. Средства защиты работающих. Классификация» усі засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) в залежності від призначення поділяються на такі класи: засоби захисту органів дихання, засоби захисту обличчя, засоби захисту очей, одяг спеціальний захисний, ізолюючі костюми, засоби захисту ніг, засоби захисту рук, засоби захисту голови, засоби

захисту слухових органів, засоби захисту від падіння з висоти та інші запобіжні засоби, захисні дерматологічні засоби, засоби захисту комплексні.

Ефективне застосування ЗІЗ залежить від їх правильного вибору та умов експлуатації. При виборі необхідно враховувати конкретні умови виробництва, вид та тривалість впливу шкідливого фактора, а також індивідуальні особливості людини. Тільки правильне застосування ЗІЗ може максимально захистити працюючого. Для цього працівники повинні бути ознайомлені з асортиментом та призначенням ЗІЗ.

Для захисту органів зору і обличчя від випромінювань оптичного діапазону місця де ведуться зварювальні роботи необхідно огорожувати спеціальними ширмами або завішувати брезентовими ширмами. Працівник який виконує процес різання повинен користуватися захисною маскою, або спеціальними затемненими окулярами. Так як працівник знаходиться безпосередньо біля джерела виділення шкідливих аерозолів і їх не можливо миттєво позбавитись, то доцільно буде використовувати захисні маски з примусовим подаванням очищеного повітря.

Конструктивні особливості масок з системою очищення та подачі повітря в зону дихання визначені необхідністю захисту органів дихання від шкідливих речовин, а очей від випромінювання. Складовими частинами таких пристроїв є захисна маска, фільтруючий елемент, збуджувач подачі повітря та з'єднувальний шланг.

Маска повинна мати світлофільтр, що захищає очі від випромінювання зварювальної дуги; причому в її конструкції слід передбачати можливість спостереження за підготовчими операціями при виконанні зварювання без піднімання маски, оскільки це призведе до розгерметизації зони дихання. Залежно від цього розроблені маски зі світлофільтрами на рідких кристалах (з автоматичним затемненням) або зі звичайним світлофільтром (постійної оптичної густини), що відкривається.

Широке розповсюдження знайшли маски зі світофільтрами з автоматичним затемненням і системою очищення та подачі повітря в зону

дихання «Speedglas Fresh Air» фірми «Hörnell Speedglas Inc.» (США), «Ainstream» фірми «Racal» (Великобританія), «Frea Air Vint» фірми «Nederman» (Швеція) та інші, що забезпечують надійний захист очей, обличчя та органів дихання зварника.

Щодо системи подачі чистого повітря під маску, то найбільшого розповсюдження за кордоном дістали портативні автономні системи, що розташовуються на поясі зварника. Такі системи складаються з електричного збуджувача тяги, який подає повітря під маску, фільтруючого блока для очищення забрудненого повітря, що забирається з робочої зони зварника, та гнучких шлангів, які з'єднують систему очищення та подачі повітря із захисною маскою. Схема і пристрій цих масок компактні, мають незначну вагу, не заважають проведенню процесу різання та звільняють руки працівника [51].

Виробництво спеціального одягу для зварників і його раціональне використання - одна з найважливіших умов забезпечення безпеки праці, профілактики травматизму та професійних захворювань. Для захисту від випромінювання, бризок розплавленого металу, механічних пошкоджень, переохолодження під час роботи на відкритому повітрі в холодний період року працівники використовують спеціальний одяг (костюми, халати, фартухи), рукавиці та інші ЗІЗ.

Спецодяг вибирається залежно від способу зварювання і умов праці відповідно до ГОСТ 12.4,103-83 "ССБТ. Одежда специальная. Средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация".

Особливістю більшості костюмів для зварників є наявність захисних накладок, розташованих попереду та ззаду на куртці і брюках. Захисні накладки повинні відрізнятися високою вогнестійкістю та зносостійкістю. Тканини і матеріали, з яких виготовляють костюми, повинні мати чіткі гігієнічні та захисні властивості, а також забезпечувати однаковий термін використання.

Одним із важливих засобів індивідуального захисту працівників є спеціальне взуття, яке застосовується для захисту від опіків бризками розплавленого металу, механічних травм, переохолодження під час роботи на

відкритому повітрі в зимовий час, перегріву під час зварювання виробів з попереднім та супроводжуваним нагрівом, а також від ураження електричним струмом, особливо під час роботи в замкнених просторах. Спеціальне взуття повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.4.032-77 "ССБТ. Обувь специальная кожаная для защиты от повышенных температур. Технические условия" та ГОСТ 12.4.050-78 "ССБТ. Обувь специальная вязаная для защиты от повышенных температур. Технические условия". Працівникам забороняється працювати у взутті з відкритим шнуруванням або металічними цвяхами в підошві. На жаль, нерідко ці вимоги виконуються не повністю і робочий персонал піддається певному ризику.

Для захисту рук у відповідності з ГОСТ 12.4.010-75 «ССБТ. Средства индивидуальной защиты. Перчатки специальные. Технические условия» слід застосовувати прості рукавиці, виготовлені з іскростійкого матеріалу з типом захисту Т.

Застосування працівниками та робочими споріднених операцій та спеціальностей (наплавники, зварювальника та ін.) необхідного одягу, взуття та інших ЗІЗ має велике значення, оскільки забезпечує зручність та безпеку роботи, надійний захист від іскор та бризок розплавленого металу та від ураження електричним струмом, а також значне скорочення травматизму та простудних захворювань.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.

Організація, облаштування та оснащення робочих місць для зварювання мають відповідати ДСТУ 2456-94.

Згідно з НАПБ Б.07.005-86 приміщення, у яких виконуються зварювальні та термічно різальні роботи, за вимогами вибухопожежної небезпеки належить до категорії Г (негорючі речовини й матеріали у гарячому, розжареному, розплавленому станах, процеси обробки яких супроводжуються виділенням променистої теплоти, іскор та полум'я; горючі гази, рідини, тверді речовини, які спалюються чи утилізуються у вигляді палива).

Згідно з ДНАОП 0.00-1.21-98 та ДНАОП 0.00-1.32-01 у приміщенні виділяється зона II-Па, де обертаються тверді горючі речовини. Категорія за БЕМЗ (безпечний експериментальний зазор між фланцями оболонки, мм) – ПА ($> 0,9$ мм). Група вибухобезпеки сумішей (за температурою самозапалювання) – ТІ (ТС) В > 450 °С. Ступінь вогнестійкості будівлі – І (не допускається поширення вогню на основні будівельні конструкції), мінімально допустиме обмеження вогнестійкості – 2,5 год, максимально допустиме обмеження поширення вогню для внутрішніх стін – 25 см.

4.3.1 Пожежна безпека

Пожежна безпека (ДНАОП 0.00-1.32-01) забезпечується:

- запобігання спалаху ізоляції при КЗ за рахунок максимального струменевого захисту;
- апобігання утворення горючого середовища за рахунок надійної герметизації обладнання, обмеженням застосування і зберігання горючих і вибухонебезпечних речовин;
- застосування пожежної сигналізації з датчиком (ИДФ-І, ДПІД і др.);
- використанням вогнегасників (клас пожежі В): ОХП-10, ОХВП-10, ОВП-7, ОХ-7, ОП-10А; для класу пожежі Е вогнегасники типу УО, ОП-10А (вибрати тип і кількість відповідно до НАПБ Б.07.005-86).

При організації технологічного процесу дотримуються усіх вимог електростатичної іскробезпеки (ГОСТ 12.1.018-79).

Передбачається також аварійне зливання пожежонебезпечних рідин, аварійне втручання горючих газів із апаратури.

Рекомендована періодична очистка робочого місця цеху, апаратури від горючих відходів, відкладання пилу, вилучення пожежонебезпечних відходів виробництва, заміна ЛВЖ і ГЖ на пожежонебезпечні технічні миючі засоби.

Передбачено пристрої, які забезпечують обмеження поширення пожежі.

Приміщення обладнується засобами колективного та індивідуального захисту людей від небезпечних факторів пожежі та протидимного захисту.

Тип виконання електрообладнання в приміщенні повинен відповідати класу зони пожежо- та вибухобезпечності [51].

4.3.2 Безпека в аварійних ситуаціях.

У випадку пробією електричної напруги на корпус плазмової установки необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці.

У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити зварювальний агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити постраждалому штучне дихання.

У випадку загорання установки для повітряно-плазмового різання необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника.

Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний:

- негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101;
- приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на дільниці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо);
- викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, дільниці).

У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника дільниці та звернутися в медпункт [51].

Висновки:

1. В даному розділі дисертації було проаналізовано основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, що виникають при повітряно-плазмовому різанні;
2. Наведено основні засоби для захисту від ураження струмом в аварійному режимі;
3. Визначено кількість повітря, яке буде видалятися відсмоктувачем та підібрали відсмоктувач, який задовольняє розрахунки;
4. Наведено основні індивідуальні засоби захисту, які використовуються під час повітряно-плазмового різання;
5. Описано порядок дій при загоранні плазмових установок під час їх роботи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В ході дослідження було встановлено, що під час процесу повітряно-плазмового різання Сталі 3сп, відбувається підвищення твердості поверхневого шару до 0,5 мм в глибину від поверхні різу.

2. Встановлено, що склад плазмоутворюючого середовища та полярність струму впливають на товщину азотованого шару. Повітря в якості плзмоутворюючого газу дає товщину азотованого шару до 0,4 мм, а чистий азот до 0,2 мм, тому його використання є доцільнішим.

3. Визначено суттєвий вплив основних технологічних параметрів режиму процесу повітряно-плазмового різання на неперпендикулярність крайок. Регулювання тиску та витрат плазмотуворюючого газу, сили струму та напруги дозволяє забезпечити значення неперпендикулярності крайок до 0,38%. Шорсткість поверхні R_z в межах від 50 до 90 мкм.

4. Ширина ЗТВ до 0,6 мм, глибина азотованого шару до 0,4 мм. Мікротвердість у проміжку від краю кромки різу до 0,2 мм в глибину сягає 7500 – 8500 МПа, а на ділянці від 0,2 мм до 0,8 вона стрімко зменшується до мікротвердості основного металу.

5. У роботі розглянуто чинники та небезпечні фактори, які необхідно враховувати при виготовленні виробів повітряно-плазмовим різанням. Для забезпечення норм охорони праці та запобігання будь якого травмування робочого персоналу в екстрених ситуаціях під час процесу повітряно-плазмового різання, було складено ряд інженерних рішень з електробезпеки, вентиляції, засобів індивідуального захисту, пожежної безпеки, та безпеки в аварійних і надзвичайних ситуаціях.

ЛІТЕРАТУРА ТА ІНШІ ДЖЕРЕЛА

1. Электронний ресурс ajan.ru - история открытия плазменной резки <http://ajan.ru/materials/istoriya-otkrytiya-plazmennoy-rezki-metallov/>
2. Арцимович Л. А. Элементарная физика плазмы. – Атомиздат 1969, С. 187 – 192.
3. Электронный ресурс ajan.ru, - Статьи/ История развития плазменной техники <http://pcsk.ru/?id=9611>
4. Головченко В.С., Доброленский В.П., Мисюров И.П. Тепловая резка металлов в судостроении. – Л.: Судостроение, 1975. – 272 с.
5. Ширшов И.Г., Котиков В.Н. Плазменная резка. – Л.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
6. Быховский Д.Г. Плазменная резка. – Л.: Машиностроение, 1972. – 168 с.
7. Васильев К.В. Плазменно-дуговая резка. – М.: Машиностроение, 1974. – 112 с.
8. Голобородько Ж.Г. Воробьев В.П. Термическая резка в ХСПО // Технология судостроения. – 1988 – №5, – С. 3-6.
9. Деев Г.Ф., Пацкевич И.Р. Дефекты сварных швов. – К.: Наукова думка, 1984. – 208 с.
10. Лакомский В.Н., Торхов Г.Ф. О поглощении азота из плазмы жидким металлом // ДАН СССР, 1968. Т.183. – С. 87-89.
11. Новожилов Н.М. Основы металлургии дуговой сварки в активных защитных газах. – М.: Машиностроение, 1972. – 167 с.
12. Плазменное поверхностное упрочнение. Л.К. Лещинский, С.С. Самотугин, И.И. Пирч, В.И. Комар. – К.: Техника, 1990. – 109 с.
13. Балановский А.Е. Особенности структурообразования в сталях при плазменном упрочнении. Иркутск, ИрГТУ, 2014. 450 с.
14. Балановский А.Е. Оценка зерна аустенита при плазменном поверхностном упрочнении среднеуглеродистых сталей // Упрочняющие технологии и покрытия. 2015. № 6, с. 27-32.

15. Донской А.В., Клубникин В.С. Электроплазменные процессы и установки в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1979. – 221 с.
16. Компаниец В.З., Полак Л.С. Особенности протекания химических реакций в неизотермических турбулентных потоках. В кн.: Полак Л.С. Неравновесная химическая кинетика и ее применение. – М.: Наука, 1979. – 227 с.
17. Полак А.С. Вычислительные методы в химической кинетике. – М.: Наука, 1984. – 280 с.
18. Васильев К.В. Плазменно-дуговая резка – перспективный способ термической резки // Сварочное производство. – 2002. - №9. – С.28-32.
19. Кимиюки Нисичуси, Киниси Мацуяма, Фундаментальное исследование плазменно-дуговой резки (ч.II). «Исецу Гаккайси» 1977, - т. 46, - №8. – С. 105-111.
20. Ю.Д. Щицын, В.Ю. Щицын, С.Д. Неулыбин, Энергетический баланс сжатой дуги при плазменной резке током обратной полярности// Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – с. 19-21.
21. Couch R.W., Dean D.C. High quality Water-Frc Cutting. W.I., 1971, No 4, s. 233-237.
22. Домбровский Ю.М. Физические основы и технология плазменного поверхностного упрочнения // Упрочняющие технологии и покрытия. 2007. № 3, с. 14-25.
23. Домбровский Ю.М. Влияние плазменной термической обработки на прочность стальных конструкций // Свар. пр-во. 1999. N2 3. С. 14-16.
24. Балановский А.Е. Основные вопросы теории плазменного поверхностного упрочнения металлов (Обзор. Часть 1) // Упрочняющие технологии и покрытия. 2015. № 12, с. 18-30.
25. Лащенко Г. И. Плазменная резка металлов и сплавов / Г. И. Лащенко. Киев: Экотехнология, 2003. 64 с.
26. Самотугина Ю.С. Плазменное поверхностное упрочнение штамповых сталей//Дисертация, 2012 С. 248-251.

27. Назарова О.И. Крылов-Олефиренко В.В. Состояние стали после плазменной резки// Физико-технический институт НАН Беларуси, 2014. С. 63-65.

28. С.П. Нефедьев, Р.Р. Дёма, Д.А. Котенко Перспективы применения плазменной закалки для упрочнения дисковых ножей// Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2015. Т. 15, № 1. С. 70–73.

29. Исследование поверхности реза при термической разделительной резке стали 09Г2С / С. В. Анахов [и др.] // Сварочное производство. 2007. № 7. С. 18–21.

30. Examination of the cut surface in thermal cutting of 09G2S steel / S. V. Anakhov [et al.] // Welding International. 2008. Vol. 22. № 4. P. 267–270.

31. Нефедьев, С.П. Особенности структуры и свойства поверхностных слоёв углеродистых сталей с плазменным упрочением и наплавкой комплексно-легированным белым чугуном: дис., канд. техн. наук / С.П. Нефедьев. – Магнитогорск, 2012. – 136 с.

32. Головченко В.С., Желтобрюх Н.Д., Никонов А.В. О причинах образования пор в сварных швах соединений, подготовленных плазменной резкой. В сб.тезисов докладов к XXIII итоговой конференции по производственным и научно-исследовательским работам в области сварки, выполненным в 1971 г. – Л.: Судостроение, 1972. – С. 28-30.

33. Применение ОКГ для спектрально-изотопного определения азота в поверхностном слое стали / Котиков В.Н., Ошемков С.В., Петров А.А. и др. // Заводская лаборатория. – 1979. – N 9. – С. 814-816.

34. Веселков В.Д., Фролов В.А., Шишкин Я.Г. Некоторые исследования причин порообразования при сварке деталей из малоуглеродистой и низколегированной сталей, вырезанных плазменной резкой. В сб. тезисов докладов к XXIII итоговой конференции по производственным и научно-исследовательским работам в области сварки, выполненным в 1971 году. – Л.: Судостроение, 1972. – С. 25.

35. Новые доказательства протекания внутризеренной деформации при скоростном нагреве : Теория и технология процессов пластической деформации / Ю. М. Домбровский, В. Н. Варавка, А. В. Шабаринов и др. //Тез. докл. Междунар. науч-техн. конф. (26-27 окт. 2004 г.) / МИСиС-ТУ. Москва. с. 276-277.
36. Домбровский Ю.М., Анищенко Е.В. Плазменное поверхностное упрочнение чугунов // Вест. ДГТУ. 2001. Т. 1. №2 1 (7). с. 73-78.
37. Домбровский Ю.М., Пустовойт В.Н. Поверхностное легирование сталей с плазменным нагревом // Материаловедение. 1998. №6, с. 53-55.
38. Петрова Л.Г. Упрочнение аустенитных сталей и сплавов за счет формирования твердого раствора при азотировании // Упрочняющие технологии и покрытия. 2007. № 4, с. 9-17.
39. Пикеринг Ф.Б. Физическое металловедение и разработка сталей: пер. с англ. : Металлургия, 1982. 184 с.
40. Квасницький В.В. Теорія зварювальних процесів. Дослідження фізико-металургійних процесів та здатності металів до зварювання. — Миколаїв:УДМТУ, 2002. — 438 с.
41. Підгаєцький В.В. Пори, включення і тріщини в зварних швах. — К.: Техніка, 1970. — 236 с.
42. Кидин И.Н. Физические основы электротермической обработки металлов и сплавов. — М.: Металлургия, 1969. — 365 с.
43. Анахов С. В. Влияние активных газовых компонент на эффект плазменного поверхностного упрочнения / С. В. Анахов // Сварочное производство. 2011. № 9. С. 26–33.
44. Tongermann I. Beitrag zur Benetzbarkeit in Oxid - und Kartidsystemen. — Neue Hutte, 1967, No 12, s. 767-769.
45. Морозов А.Н. Водород и азот в стали. — М.: Металлургия, 1960. — 282 с.
46. Протасов Г.А. Особенности образования аустенита в условиях быстрого нагрева при термической резке // Тр. ВНИИАВТОГЕНМАШ

«Процессы и оборудование плазменной обработки материалов». – 1980. – С. 49 – 52.

47. Материаловедение и технология металлов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др. – М.: Высш. шк., 2001. – 638 с.

48. Emelyushin, A.N. Investigation of the Structure and Impact-Abrasive Wear Resistance of Coatings of the Fe-C-Cr-Mn-Si System, Additionally Alloyed with Nitrogen / A.N. Emelyushin, E.V. Petrochenko,

S.P. Nefed'ev // Welding International. – 2013. – Т. 27, no. 2. – С. 150–153.

49. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. К.: Основа, 2010. 240 с.

50. Основи охорони праці / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний та ін. // За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. □ К.: Основа, 2006. – 448 с.

51. Левченко О. Г., Метлицкий В. А. Современные средства защиты сварщиков. – Киев: Экотехнология, 2001. – 84 с.

52. В.В.Квасницький, д.т.н., проф., Б.О.Чміль, студ., Модифікування поверхні низьковуглецевих сталей при повітряно-плазмовому різанні, // НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського, 2018 р., с. 20.

53. М.С. Строкач, Б.О. Чміль, Вплив біопалива на техніко-економічні показники дизельного двигуна // НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського, 2013р., с. 61.